جيومورفولوجية
الأشكال الأرضية

الأستاذ الدكتور

محمد صبري محسوب

أستاذ الجغرافيا الطبيعية

كلية الآداب - جامعة القاهرة

١٤٢١هـ - ٢٠٠١م

ملتزم الطبع والنشر

دار الفكر العربي

٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة

ت: ٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥

www.darelfikrelarabi.com

INFO@darelfikrelarabi.com

٥٥١,٤ محمد صبرى محسوب.

م ح ج ى جيمورفولوچية الأشكال الأرضية/ محمد صبرى محسوب.
ـ القاهرة: دار الفكر العربى، ٢٠٠١.

٤٨٤ ص: إيض؛ ٢٤ سم.

ببليوجرافية: ص ٤٧٥ ـ ٤٨٤ .

تدمك: ٣ ـ ٠٨٩٤ ـ ١٠ ـ ٩٧٧.

١ ـ الجيمورفولوچيا. ٢ ـ الجغرافيا الطبيعية
أ ـ العنوان.

حورس للطباعة والنشر (مهندس/ هشام الشربينى وشركاه)
١ ش المدق ـ خلف رقم ١٨٤ ش بورسعيد ـ السيدة زينب ت: ٣٩٥٧٦١٤

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم:

أحمد الله تعالى وأصلى وأسلم على أشرف المرسلين «سيدنا محمد خاتم النبيين».

يسعدنى أن أقدم هذا الكتاب إلى كل من يهتم بعلم الجيومورفولوجيا من طلاب وباحثين، ويزيدنى سعادة أن أستشعر إفادتهم منه بقدر ما بذل فيه من جهد.

هذا الكتاب المعنون **«جيومورفولوجية الأشكال الأرضية»** جاء بعد تفكير عميق وبعد إنجاز أكثر من عشرة كتب فى الجغرافيا الطبيعية وأكثر من عشرين بحثًا متخصصًا، مهدت جميعها لإنجاز هذا الكتاب بهذه الصورة التى بين أيدى الدارسين. والذى لم يكن الهدف من إنجازه زيادة عدد كتب الجيومورفولوجيا بقدر إضافة شىء ذا قيمة، أفاد مما هو موجود من كتب متخصصة وأضاف إليها ما استحدث من معالجات ومفاهيم حديثة وأساليب ارتبطت بالتطور الكبير الذى شهده هذا المجال الهام من مجالات علم الجغرافيا.

ويبدأ الكتاب بدراسة الخصائص الرئيسية للصخور المكونة لقشرة الأرض وأنواعها التفصيلية، ثم دراسة تحليلية للأشكال الأرضية الناتجة عما انتاب الأرض من حركات تكتونية، وكذلك الأشكال والملامح الجيومورفولوجية والتركيبية المرتبطة بكل نوع من أنواع هذه الصخور.

ويعالج الكتاب فى فصوله من الثالث حتى التاسع العمليات الجيومورفولوجية والأشكال المرتبطة بها معالجة تحليلية متعمقة مستخدما فى ذلك أحدث الأساليب والطرق الكمية فى كثير من المواضع وذلك بهدف التمكن من تفهم وتطبيق النماذج الجيومورفولوجية الحديثة مثل نموذج التوازن الديناميكى dynamic equilibrium الذى استعان به المؤلف فى كثير من المعالجات. وهذا النموذج يعنى ببساطة «أن التفاعل بين أغلفة الأرض وبعضها يعطى سطح الأرض

وأشكاله الناتجة عن هذا التفاعل تعقيـدات بالغة، ويهدف فهم وتطبيق هذا المفهوم أو النموذج إلى تبسيط هذه الصورة المعقدة وذلك من خلال تحليل العملية والشكل باعتبارهما يعكسان التوازن اللحظى لهذا التفاعل (التوازن بين قوى التشكيل وقوى المقاومة) مع الأخذ فى الاعـتبار دائما أثناء المعالجة أثر عامـل الزمن على تغيير هذا التوازن (صبـرى وراضى، ١٩٨٥). ومن ثم كانت الاستعانة كثـيرا بنموذج دورة التعرية الديفزية الذى وضعه W.M.Davis والذى يهتم بـدراسة أشكال الأرض فى ضوء التـركيب (البنية) والعـملية التى تشكل السطح والفـترة الزمنية التى مـر بها الشكل مع اهتمامه البالغ بمراحل التطور على حساب الاهتمام بالتركيب الجيولوجى والعملية.

وينتهى الكتـاب بفصل غـير تـقليدى يـعالج دور الإنسـان فى العـمليـات والأشكال الجيومـورفولوجية وذلك من خلال إبراز دوره فى كل عـملية على حدة ومايرتبط بهـا من أشكال فى محـاولة لوضع إطار علمى لمعالجـة مثل هذه الأدوار التى يقوم بها الإنسان من خلال نشاطاته وتدخلاته المتعددة.

ويتضمن الكتاب ١٥٠ شكلا وخريطة ورسما توضيحيًّا إلى جانب نحو ٣٥ صورة فوتوغرافية معظمها من البيئة العربية؛ وذلك لتوضيح ماجاء فى الكتاب من معلومات، والمساعدة فى تفهم العمليات والأشكال الأرضية التى تناولتها الدراسة.

ويطيب للمؤلف أن يـتقدم بالشكر والعـرفان لكل من ساعـد فى إنجاز هذا الكتاب ويخص بالذكر **الفنان سمير دهبية** الذى قام بـالمساعدة فى رسـم عدد من الأشكال التى تتضمنها صفحاته. كـما يطيب له أن يتقدم بالشكر والعرفان للزميل والأخ العزيز **الدكتور محـمد زكى السديمى** على ملاحظاتـه ومراجعـته للأشكال والصور، وآمل أن يكون هذا الجهد العلمى كشجـرة طيبة يقطف ثمارها أو يستظل بظلها طلاب الجيومورفولوجيا.

وعلى الله قصد السبيل

المؤلف
مدينة نصر ـ القاهرة
١٩٩٧

المحتويات

* المقدمة. ٣

الفصل الأول

* صخور قشرة الأرض. ١٧

الفصل الثانى

* الأشكال الأرضية. ٣٣

(التكتونية والتركيبية)

الفصل الثالث

* التجوية والأشكال الأرضية المرتبطة بها ٠٧٣

الفصل الرابع

* السفوح ..

[العمليات المرتبطة بها ـ أشكالها وزوايا انحدارها] ١٠٧

الفصل الخامس

* التعرية النهرية والأشكال الأرضية المرتبطة بها. ١٣٧

الفصل السادس

* المياه تحت الأرضية وأشكال الأرض الكارستية ٢٢٧

الفصل السابع

* العمليات الهوائية والأشكال الأرضية المرتبطة بها ٢٦٥

الفصل الثامن

* التعرية الساحلية وأشكالها الأرضية. ٣١٥

الفصل التاسع

* التعرية الجليدية .

[العمليات والأشكال الأرضية المرتبطة بها] ٣٩٧

الفصل العاشر

* الإنسان ودوره فى تشكيل سطح الأرض.

[أثره فى العمليات والأشكال الجيومورفولوجية] ٤٢١

قائمة المراجع ٤٧٥

فهرس الأشكال

١ ـ البراكين ٣٧

٢ ـ البراكين المركبة ٣٨

٣ ـ جبل شاستا. ٣٩

٤ ـ مكونات الكالديرا. ٤٠

٥ ـ بحيرة كريتر. ٤١

٦ ـ بحيرة تشغل فوهة بركان. ٤٢

٧ ـ تجمد اللافا وتكوين بحيرة طولية. ٤٢

٨ ـ الوتد اللافى. ٤٣

٩ ـ التضاريس الأصلية مدفونة تحت اللافا. ٤٥

١٠ ـ وادى نهرى منطبع فى طفوح لافية. ٤٥

١١ ـ الأشكال الماجمية تحت سطح القشرة الأرضية. ٤٥

١٢ ـ أ ـ تكون حافة بارزة من السدود المتداخلة. ب ـ تكون منخفض طولى ضحل. ٤٨

١٣ ـ أنواع الصدوع. ٥٠

١٤ ـ صدوع الهورست والأخدود. ٥٢

١٥ ـ حافة صدعية متزحزحة. ٥٤

١٦ ـ حافة صدعية تكونت نتيجة لعمليات تصدع سابقة. ٥٤

١٧ ـ سلسلة واساتشى. ٥٥

١٨ ـ الالتواءات وأجزاء الطية. ٥٨

١٩ ـ نشأة الجبال الالتوائية تبعا لهولمز. ٦٠

٢٠ ـ منخفض الواحات البحرية. ٦٤

٢١ ـ قبو جرنفيل. ٦٥

٢٢ ـ قطاع فى جبل قصور شرق عين شرفا بالجزائر ـ وادى طية محدبا (محدب منحوت). .... ٦٦، ٦٧

٢٣ ـ منطقة جبلية تعرضت لالتواء خفيف. ٦٧

٢٤ ـ التفصل العمودى. ٧٩

٢٥ ـ أثر دورات الصقيع فى تقطع كتل الفواصل وتفككها. ٨١

٢٦ ـ تكسر الصخور إلى كتل مستطيلة بفعل الصقيع والتغير الحرارى. ٨٢

٢٧ ـ دورة التملح. ٨٧

٢٨ ـ أثر التجوية الحرارية على جلمود صخرى. ٩٠

٢٩ ـ بعض أشكال التجوية فوق سطح جيرى. ١٠٣

٣٠ ـ قبو صخرى فى بيئة مدارية. ١٠٤

٣١ ـ نطاقات تجوية الصخور النارية بهونج كونج. ١٠٥

٣٢ ـ تأثير قوى الجاذبية على حبة صخرية فوق سفح. ١١٠

٣٣ ـ نظام السفح. ١١٤

٣٤ ـ سفح شديد التقطع مع ركام السفوح. ١١٧

٣٥ ـ انزلاق دورانى. ١٢٠

٣٦ ـ انزلاق ثانوى مع امتداد لسان باتجاه أقدام السفح. ١٢٠

٣٧ أ ـ زحف التربة والفتتات الصخرية. ١٢٢

٣٧ ب ـ مدرجات ناتجة عن زحف تربة مشبعة بالمياه. ١٢٣

٣٨ ـ اختلاف سرعة حركة المواد فوق السفح عند أعماق مختلفة. ١٢٥

٣٩ ـ سفح من وجهين أحدهما حر والآخر هشيمى مقيد. ١٣٣

٤٠ ـ نموذج «وود» للسفوح. ١٣٤

٤١ ـ نموذج «كين». ١٣٦

٤٢ ـ التدفق الدوامى. ١٤٢

٤٣ ـ دوامات رأسية بقناة النهر. ١٤٢
٤٤ ـ الحفر الوعائية بقاع النهر. ١٤٣
٤٥ ـ نقل النهر لرواسبه. ١٤٦، ١٥١
٤٦ ـ قطاعات النهر. ١٥٤
٤٧ ـ مراحل تطور الأشكال الأرضية فى أحواض الأنهار تبعا لديفز. ١٥٦
٤٨ ـ نتوءات نهرية متداخلة. ١٥٨
٤٩ ـ الشلالات الناتجة عن الحواجز الصخرية. ١٦٠
٥٠ ـ انطباق نطاق الثنيات مع حدود السهل الفيضى. ١٦٤
٥١ ـ خصائص القناة النهرية المتعرجة وتطورها. ١٦٨
٥٢ ـ التيارات الثانوية العرضية، وأثرها فى تطور القناة النهرية. ١٦٩
٥٣ ـ مراحل تطور الثنيات النهرية. ١٧٠
٥٤ ـ العناصر الهندسية للثنيات النهرية. ١٧١
٥٥ ـ العلاقة بين تطور الثنيات وتكون السهل الفيضى. ١٧٢
٥٦ ـ كيفية تكون الجسور الطبيعية للنهر. ١٧٣
٥٧ ـ هجرة النهر لمجراه وشكل المدرجات النهرية. ١٧٥
٥٨ ـ تطور مدرجات نهرية على جانبى إحدى الثنيات النهرية المتأثرة بتغير مستوى القاعدة. ١٧٦
٥٩ ـ مدرجات نهرية سابقة للسهل الفيضى الحالى. ١٧٨
٦٠ ـ نتوء أرضى متوغل داخل إحدى الثنيات المتعمقة. ١٧٩
٦١ ـ مراحل تطور الثنيات المتعمقة. ١٨٠
٦٢ ـ القناة النهرية المضفرة. ١٨١
٦٣ ـ السهل الدلتاوى. ١٨٦
٦٤ ـ امتداد الدلتا وتطورها. ١٨٧
٦٥ ـ أشكال الدالات أ ـ ب. ١٨٩

٦٦ ـ مروحة فيضية. ١٩١
٦٧ ـ النظام السيلى فى منطقة جبلية. ١٩٢
٦٨ ـ أ ـ أنماط التصريف النهرى. ب ـ كيفية حدوث الأسر النهرى. ١٩٤
٦٩ ـ منطقة تقسيم المياه بالصحراء الشرقية. ١٩٩
٧٠ ـ أكواع الأسر قرب هولسبرج. ٢٠٠
٧١ ـ أسر نهرى فى منطقة يوركشير. ٢٠١
٧٢ ـ الحوض الأعلى لوادى بيشة. ٢١٣
٧٣ ـ حوض وادى لبن بهضبة نجد. ٢١٧
٧٤ ـ أحواض أودية نقارة وجاسوس وجوسيس. ٢١٩
٧٥ ـ أحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة. ٢٢١
٧٦ ـ صور الإذابة بكتلة من الحجر الجيرى. ٢٤٢
٧٧ ـ أنواع حفر الإذابة وحفر الانهيار. ٢٤٧
٧٨ ـ (أ) الملامح المورفولوجية لعيون الأفلاج. (ب) ـ العلاقة بين محاور البحيرات الثلاث بالأفلاج. ٢٤٩
٧٩ ـ أشكال كارسيتية رئيسية. ٢٥٦
٨٠ ـ غار النشاب بجبل قارة بالإحساء. ٢٥٧
٨١ ـ انبجاس مياه النهر الأعمى. ٢٦٠
٨٢ ـ مقطع فى نافورة حارة. ٢٦٢
٨٣ ـ تشكيل الحصى الهندسى بفعل الرياح وبعض أشكاله. ٢٧٦
٨٤ ـ المائدة الصحراوية. ٢٧٧
٨٥ ـ ظاهرة الزيوجين أ ـ ب. ٢٨٠
٨٦ ـ ظاهرة الياردنج أ ـ ب. ٢٨١
٨٧ ـ تلان وسط أرض منخفضة. ٢٨٢
٨٨ ـ الكدوات الناتجة عن نحت الرياح. ٢٨٤

٨٩ ـ مصايد الرمال. ٢٨٩
٩٠ - كفاءة المصائد الرأسية والأفقية. ٢٩٣
٩١ ـ غرد طولى تطور نتيجة لهبوب رياح من اتجاهين مختلفين. ٣٠٤
٩٢ ـ الكثبان رملية قرب الواحات الخارجة. ٣٠٧
٩٣ ـ كثبان رملية برخانية مع تحديد كيفية تكونها. ٣٠٨
٩٤ ـ بعض الكثبان والأشكال الرملية فى المناطق القاحلة. ٣١٣
٩٥ ـ تراجع الجروف الساحلية بفعل الانهيارات. ٣٢٤
٩٦ ـ قطاع فى جرف طباشيرى بجزيرة ثانت بإنجلترا. ٣٢٦
٩٧ ـ تكون الكهوف والشروم والخلجان والرصيف الشاطئى وغيرها. ٣٢٧
٩٨ ـ قطاع جرف بحرى فى خليج جنابه جنوب جزيرة فرسان. ٣٣٠
٩٩ ـ رصيف الشاطئ جنوب بحيرة مرسى مطروح الشرقية. ٣٣٢
١٠٠ ـ جرف بساحل أبو سمرة. ٣٣٤
١٠١ـ فجوة الأمواج فى جرف طينى بساحل إيدهاما باليابان. ٣٣٩
١٠٢ ـ شرم بحرى ناتج عن انهيار سقف كهف بحرى. ٣٤١
١٠٣ ـ رأس أبو سومة. ٣٤٥
١٠٤ ـ تومبولو جزيرة بارنجوى. ٣٤٦
١٠٥ ـ ساحل أوتواى وأشكال رصيفه البحرى. ٣٤٧
١٠٦ ـ تكون الجروف وتطورها. ٣٥٠
١٠٧ ـ النطاقات الساحلية وبعض الملامح الشاطئية. ٣٥١
١٠٨ ـ بلاج رملى وحصوى. ٣٥٣
١٠٩ ـ تكون لسان رملى منحنى (معقوف) بفعل أمواج بحرية منحرفة. ٣٥٦
١١٠ ـ لسان ساندى هوك. ٣٥٧
١١١ ـ تطور الحواجز الشاطئية وتكون اللاجون. ٣٥٩
١١٢ ـ حاجز بحيرة المنزلة. ٣٦١

١١٣ ـ (أ) تكون الحافات الرملية المنخفضة. (ب) ـ مسننات الشاطئ. ـــ ٣٦٣
١١٤ ـ جزيرة سفاجة. ـــ ٣٦٦
١١٥ ـ خلجان وأشكال إرسابية على ساحل منخفض. ـــ ٣٦٧
١١٦ ـ مصب خليجي متسع. ـــ ٣٦٨
١١٧ ـ قطاع عرضى فى قناة مدية. ـــ ٣٧٢
١١٨ ـ قنوات مدية بساحل هولندا. ـــ ٣٧٤
١١٩ ـ مستنقع مانجروف وسط جزيرة مرجانية. ـــ ٣٧٦
١٢٠ ـ الكثبان الأمامية الساحلية. ـــ ٣٨٠
١٢١ ـ جرف رملى منحوت بفعل الحت الموجى لجبهة كثيب أمامى. ـــ ٣٨١
١٢٢ ـ كثيب رملى مجدوع. ـــ ٣٨٢
١٢٣ ـ شكل الإطار المرجانى. ـــ ٣٨٩
١٢٤ ـ رسم توضيحى لإطار مرجانى بالساحل الشمالى الشرقى لخليج العقبة. ـــ ٣٩٠
١٢٥ ـ ساحل سفاجة المرجانى. ـــ ٣٩٢
١٢٦ ـ الحاجز المرجانى. ـــ ٣٩٣
١٢٧ ـ نقل المفتتات بفعل الجليد. ـــ ٤٠٢
١٢٨ ـ أحد الأودية الجليدية بالعروض العليا. ـــ ٤٠٤
١٢٩ ـ أحد الأودية الجليدية تحده حافات مسننة وقمم هرمية وأودية معلقة وغيرها من الأشكال الجليدية الجبلية. ـــ ٤٠٥
١٣٠ ـ وادى معلق يلتقى بالنهر الجليدى الرئيسى. ـــ ٤٠٦
١٣١ ـ منطقة تعرضت للنحت الجليدى. ـــ ٤٠٧
١٣٢ ـ أثر النحت الجليدى فى تحدب القمم الهرمية التى تظهر بالشكل السابق ١٣١. ـــ ٤٠٧
١٣٣ ـ أعالى نهر آفون جلين. ـــ ٤٠٩
١٣٤ ـ ظهور غنمية. ـــ ٤٠٩

١٣٥ ـ منطقة ساحلية مرتفعة أثناء تعرضها للنحت الجليدى. ٤١٠
١٣٦ ـ غمر البحر للمنطقة السابقة وظهور مصبات بجوانب منحدرة. ٤١٠
١٣٧ ـ تكون الركام الأوسط من اندماج ركامين جانبيين لنهرين جليديين التقيا ببعضهما البعض. ٤١٢
١٣٨ ـ أشكال إرساب جليدى بقاع إحدى الثلاجات بعد ذوبان الجليد. ٤١٣
١٣٩ ـ امتداد نطاق من الركامات الجليدية النهائية. ٤١٥
١٤٠ ـ حافة إسكر. ٤١٦
١٤١ ـ مجموعة من الكثبان الجليدية غرب نيويورك. ٤١٨
١٤٢ ـ الوتد الجليدى. ٤١٩
١٤٣ ـ الزراعة الكنتورية. ٤٣٣
١٤٤ ـ العلاقة بين التوسع العمرانى وحدود المجرى المائى. ٤٤٥
١٤٥ ـ الحوائط البحرية. ٤٥٩
١٤٦ ـ أثر حواجز الرمال فى ساحل بحيرة «إيرى» الجرفى. ٤٦١
١٤٧ ـ حائط حاجز بحيرة المنزلة (تكسية الشاطئ). ٤٦٣
١٤٨ ـ بعض وسائل حماية جروف منطقة والتن. ٤٦٤
١٤٩ ـ نظام تغذية البلاج. ٤٦٦
١٥٠ ـ مناطق الهبوط الأرضى بولاية كاليفورنيا الأمريكية. ٤٧٠

فهرس الصور الفوتوغرافية

(١) جدة (سد أفقى) متداخلة. ٤٦
(٢) قاطع رأسى (عرضى من الكوارتز) متداخل فى صخور متحولة. ٤٧
(٣) انهيارات أرضية على أحد السفوح الجبلية. ٦٩
(٤) تشققات سطحية غير منتظمة فى إحدى السبخات بالإحساء. ٧١
(٥) تشققات طينية كبيرة فى قاع بحيرة سد أبها أثناء الجفاف. ٧٢
(٦) تفصل عمودى بجانب أحد الأودية الجافة. ٨٠
(٧) تفكك كتلى بالصخور النارية. ٨٣
(٨) تشقق الطرق المسفلتة بفعل التجوية الملحية. ٨٨
(٩) مفتتات ناتجة عن التجوية. يلاحظ تورق الكتلة الصخرية كبيرة الحجم. ٩٠
(١٠) أثر جذور النباتات على تفكك الصخور. ٩٩
(١١) حفر تجوية. ١٠٢
(١٢) كهف صخور مفككة بإحدى الحافات النارية بنجران. ١٠٣
(١٣) سفح شديد التقطع على جانب وادى «حلى» بعسير. ١١٧
(١٤) سفح مستقيم من صخور نارية مع حدوث انزلاق لوحى للصخور. ١٣٠
(١٥) كتل صخرية جندلية بقاع أحد الأودية الجافة أثناء الجريان السيلى. ١٥٩
(١٦ أ) شلال دقيق على جانب وادى أبها. ١٦٢
(١٦ ب) ثنية فى نهر جريبول. ١٦٢
(١٦ جـ) إعادة شباب نهر سان جواكين. ١٦٢
(١٧) منخفض سبرة بوكرباس بليبيا. ٢٥١
(١٨) سطح مشرشر (بوجاز) فى يوركشير. ٢٥٣
(١٩) أحد الكهوف الكارستية عند حضيض حافة جيرية. ٢٥٦
(٢٠ أ) انهيار وسقوط كتل من الحجر الجيرى عند مدخل غار النشاب بجبل غارة بالإحساء. ٢٥٨
(٢٠ ب) مدخل كهف كارلسباد بمدينة نيومكسيكو ٢٥٨

(٢١) مائدة صحراوية بوادى الريان. ٢٧٨
(٢٢) شواهد صحراوية شكلتها التجوية والرياح. ٢٧٩
(٢٣) أربع جزر جبلية وسط سهل صحراوى متسع ومنخفض. ٢٨٢
(٢٤) كثيب برخانى ساحلى. ٣٠٨
(٢٥) تنقير صخور رصيف الشاطئ بساحل مرسى مطروح. ٣٢١
(٢٦) شرفة وفجوات الأمواج بساحل فرسان. ٣٣٠
(٢٧) انهيار جرف بحرى منخفض بساحل جنابة بجزيرة فرسان الكبرى. ٣٣١
(٢٨) صورة رصيف بحرى بمنطقة مرسى مطروح يظاهره جرف جيرى. ٣٣٣
(٢٩) حاجز مرجانى مرتفع بجرز فرسان تظهر به أقواس بحرية وجزيرات. ٣٤٣
(٣٠) صورة بلاج رملى. ٣٥٤
(٣١) مستنقع مانجروف. ٣٧٧
(٣٢) سفحان متجاوران أحدهما تم تدريجه وزراعته والآخر على صورته الأصلية. ٤٣٤
(٣٣) تدريع السفوح بشبكات من الصلب فى الباحة بعسير للحماية من الانهيارات الأرضية. ٤٣٧
(٣٤) منزل فوق حافة سفح جبلى. ٤٤٠
(٣٥) سد وادى نجران. ٤٥٥
(٣٦) شلال اصطناعى بوادى الريان. ٤٥٦
(٣٧) تموج السكك الحديدية مع هبوط سطح الأرض ٤٧٣

فهرس الجداول

(١) تصنيف الحبيبات الرسوبية والصخور المكونة منها. ——— ٢٤

(٢) قياسات «راب Rapp» للعمليات المرتبطة بالسفوح. ——— ١٢٦

(٣) معدلات نقل الرواسب العالقة بالأنهار الرئيسية فى العالم. ——— ١٤٩

(٤) المتغيرات المورفومترية لأحواض التصريف النهرى. ——— ٢٠٤

(٥) عدد من المتغيرات المورفومترية لشبكة التصريف النهرى. ——— ٢١٢

(٦) معدل التشعب (التفرع) بحوض وادى بيشة الأعلى. ——— ٢١٣

(٧) نسب التشعب بوادى لبن. ——— ٢١٨

(٨) بعض القياسات المورفومترية لأودية نقارة وجاسوس وجوسيس. ——— ٢٢٠

(٩) بعض القياسات المورفومترية بأحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة. ——— ٢٢١

(١٠) قيم معدل التضرس والوعورة والكثافة التصريفية بأخواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة. ——— ٢٢٣

(١١) بعض الخصائص المورفومترية لأودية أبو سمرة وجابر والضبعة. ——— ٢٢٥

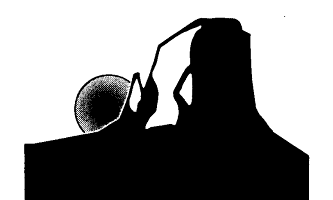
(١٢) أبعاد عيون (بحيرات) الأفلاج بهضبة نجد. ——— ٢٥٠

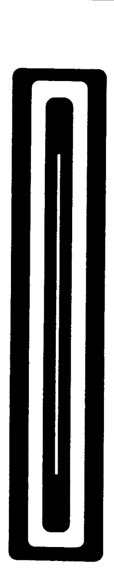
(١٣) العلاقة بين سرعة الرياح سم/ ثانية وطول موجة النيم. ——— ٣٠٦

(١٤) الأشكال المرجانية الرئيسية. ——— ٣٨٨

(١٥) تغير معدل ناتج الرواسب من سطح الأرض بحوض النهر والقناة مع زيادة أشكال الاستخدامات البشرية للأرض. ——— ٤٤١

الفصل الأول





صخور قشرة الأرض

تعد الصخور المكون الرئيسى لقشرة الأرض، وهى فى الأصل عبارة عن مجموعة من المعادن التى تراكمت فى منطقة ما وتعرضت لظروف تكوين معينة.

وقد قسم العالم Rosenbusch صخور قشرة الأرض إلى ثلاثة أنواع رئيسية تتمثل فى:-

١ ـ الصخور النارية .

٢ ـ الصخور الرسوبية .

٣ ـ الصخور المتحولة.

تتركب قشرة الأرض فى معظمها من صخور نارية نتجت عن تصلب الصهارة المندفعة من داخل الأرض إلى أعلى باتجاه السطح، ويعتمد التركيب المعدنى والكيماوى للصخور النارية على التركيب الأصلى للصهارة والذى يعد أكسيد السليكون (السيليكا) SIO_2 المكون الرئيسى لها، بينما تتحد الأكاسيد الأخرى وأهمها أكسيد الألومنيوم وأكسيد الحديدوز وأكسيد المغنسيوم بالسيليكا مكونة المعادن الهامة التى تعرف بالسيليكات وهى المكون الرئيسى للصخور.

ويعد الكوارتز من أهم المعادن المكونة للصخور النارية،بالإضافة إلى مجموعة الفلسبارات وتشمل الأرثوكليز والألبيت ومجموعة الميكا وتشمل المسكوفيت والبيوتيت، وهناك معادن أخرى مثل الأوجيت والماجنيتيت وغيرها.

أما الصخور الرسوبية فتنشأ عن تراكم مفتتات صخرية مشتقة من كل أنواع الصخور بفعل عمليات التجوية والتعرية، وعادة ماترسب فى شكل طبقات strata ولذلك فإنها كثيرا ماتعرف بالصخور الطباقية.

ويتم تماسك الصخور الرسوبية بفعل ماينشأ من ضغط عليها نتيجة لتراكم الطبقات التى تعلوها، أو تتماسك بسبب وجود مواد لاحمة

Cementing materials، مثل كربونات الكالسيوم وأكاسيد الحديد بين حبيباتها. بالنسبة للصخور المتحولة فهى عبارة عن صخور ذات أصل نارى أو رسوبى تعرضت للتحول بفعل الحرارة أو الضغط مما أدى إلى حدوث تغير فى النسيج الصخرى الأصلى مع تكون معادن جديدة.

وفى الصفحات التالية دراسة تفصيلية بعض الشىء لخصائص هذه الأنواع الصخرية الثلاثة:

أولا ـ الصخور النارية: Igneous Rocks :-

تتكون الصخور النارية إما داخل القشرة الأرضية كصخور متداخلة Intrusive rocks بين الطبقات فى الشقوق والتجويفات التى توجد بالصخور الأخرى أو تتكون فوق سطح الأرض، وتعرف فى هذه الحالة بالصخور السطحية أو البركانية حيث تنساب كحمم بركانية مختلطة بالرماد البركانى .

وكما ذكرنا فإن التركيب المعدنى والكيماوى للصخور النارية يعتمد أساسًا على التركيب الأصلى للصهارة والتى تحتوى بدورها على مكونات غير طيارة non volatiles ودرجة تصلبها حوالى ١٠٠٠ درجة مئوية ومكونات طيارة volatiles وهى عبارة عن غازات وبخار ماء ومواد طيارة تحمل معها عديد من المعادن الفلزية (موسى وزملاؤه ، ص ٣٧) .

وتتركب الصهارة من عدد من المعادن الرئيسية أهمها أكسيد السليكون Sio_2 بنسبة تتراوح بين ٣٥-٧٥٪ وأكسيد الألومنيوم Al2O3 من صفر -٢٥٪ وأكسيد الحديدوز Feo من صفر - ٢٠٠٪ وأكسيد المغنسيوم Mgoمن صفر - ٤٥٪ وأكسيد الكلسيوم وأكسيد الصوديوم وغيرها .

ويعد أكسيد السليكيون (السيلكا) المكون الرئيسى للصهارة، بينما تتحد الأكاسيد الستة الأخرى بالسيليكا مكونة المعادن الهامة التى تعرف بالسيليكات

المكونة للصخور وعادة ما تتحد هذه المعادن والمكونات المختلفة مع بعضها البعض عندما تنخفض درجة الحرارة ، وإذا ما توافرت نسبة السيليكا فإنها تظهر فى الصخر النارى على هيئة معدن الكوارتز .

أهم المعادن المميزة للصخور النارية :

تشتمل الصخور النارية على عدد كبير من المعادن أهمها الكوارتز ومجموعة الفلسبارات وتشمل الأرثوكليز والألبيت والأنورثيت، ومجموعة الميكا وتشمل المسكوفيت والبيوتيت ومجموعة البيركسين وأهمها الأوجيت، ومجموعة الأمفيبول وأهمها الهورنبلند وبعض أكاسيد الحديد مثل الماجنيتيت والألمنيت ، ومن المعادن أيضًا الأوليفين والأخير من المعادن قاتمة اللون .

تنقسم الصخور النارية على أساس نسبة ما تحتويه من سيليكا إلى :-

تقسيم الصخور النارية حسب درجة حموضتها :

١) صخور حمضية : Acidic Rocks :-

تتميز السيليكات التى تتبلور فى درجات حرارة منخفضة بغناها فى مادة السيليكا ، أى أن نسبة شقها الحمضى أكبر من شقها القاعدى ولذلك تسمى بالصخور الحمضية حيث تصل نسبة السيليكا بها إلى نحو ٧٠٪ وعادة ما تتميز هذه الصخور بلونها الفاتح وقلة كثافتها النوعية بالمقارنة بالصخور القلوية، ومن أهم أنواع هذه الصخور [الجرانيت - والجرانوديوريت - والريوليت] .

٢) الصخور القلوية : Alkaline Rocks :-

وهى الصخور التى تبلورت فى درجات حرارة عالية مما أدى إلى زيادة نسبة الشق القاعدى أو القلوى فيها ، ولذلك تسمى بالصخور القاعدية أو القلوية ومنها صخر البازلت وصخر الجابرو gabbro ، الأول من الصخور البركانية والثانى من الصخور البلوتونية plutonic ومن الصخور القلوية أيضًا البريوديت،

وتتراوح نسـبة السيليكا فى هذه الصـخور بين ٤٥-٥٥٪ وترتفع فيهـا أيضًا نسبة الحديد والمـغنسيوم وهى أقل مقاومة لعـمليات التعرية من الصخور الحـمضية وتتميز بألوانها القاتمة بسبب زيادة نسبة مـركبات الحديد بها، وتوجد صخور أخرى فوق قاعدية ultrabasic تتراوح فـيها نسـبة السيليكا مـا بين ٥٪ - ٣٥٪ (صفى الدين ، ١٩٧٦، ص٥٨) ومن أهم أنواعها السربنتين serpentine .

وهناك أنواع أقل قلوية وأكـثر حـموضـة (وسط بين القلوية والحـمضـية) تتراوح نسبة السيليكا بها ما بين ٥٥ - ٦٥٪ وتتـمثل أساسًا فى الصخور المتداخلة فى قشرة الأرض والمكونة للسدود والجدد الغائرة وغيرها .

وتختلف الصـخور النارية عن بعـضها البـعض فى حجم بلّوراتهـا، فهناك صخور ذات بلّورات دقـيقة مثل البازلت والذى برد على السطح بسـرعة لم تسمح له بالتبلور بشكل جيد، وهناك الصخـور النارية جيدة التبلور مثل الجرانيت والذى أتيح له التجمد فى أعماق بعيدة ببطء شديد مما سمح له بنمو بلّورات واضحة .

وهناك صخور نارية وسط بين الاثنين وهى الصخور المتداخلة المكونة للسدود الرأسية والخزانات الصخرية .

ثانيًا ـ الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks :-

تتكون الصخور الرسوبية من ترسيب مواد مـفتتة أو ذائبة نتجت عن تعرض الصخور المختلفة لعمليات التجوية والتعرية المختلفة[1] .

وعادة ما تنقل المفتـتات الصخرية من أماكنها الأصلية إما فى شكـل حبيبات صلبة أو فى صـورة محاليل ثم ترسـب بعد ذلك فى طبقـات بعد توزيعهـا بفعل العمليـات الهوائيـة والنهرية وغيـرها مكونة الرواسب الطبقـية ، وتتـراكم معظم الرواسب على هيئة مواد مفتتة غير متماسكة unconsolidated ثم تتعرض لعمليات تجعلها أكثر تماسكًا وصلابة تتمثل أهمها فيما يلى :-

(١) تغطى الصخور الرسوبية أكثر من ثلاثة أرباع سطح القـشرة الأرضية، بينما تكون نحو ٥٪ فقط من صخورها ويرجع ذلك إلى وجودها كغطاء رقيق غير متصل .

الضغط والتجفيف :

حيث يؤدى ثقل الرواسب المتراكمة فوق بعضها على تماسك جزيئاتها، كذلك يؤدى الضغط إلى طرد ما فى مسامها من مياه فتجف وتتماسك الجزيئات التى تتكون منها تلك الصخور، ومن الصخور الرسوبية التى تكونت بهذه الطريقة الحجر الطينى mud stone .

التلاحم - Cementation :

يؤدى وجود بعض المعادن بين الرواسب على تماسكها وتلاحم الجزيئات بعضها ببعض، وأهم المعادن اللاحمة السيليكا وأكاسيد الحديد وكربونات الكالسيوم، وتعد السيليكا أكثر المواد اللاحمة تأثيراً ويتم ترسيب المواد اللاحمة بين الرواسب عندما تتخلل مساماتها فى شكل محاليل ما يقلل من الفراغات البينية voids للرواسب ويؤدى إلى التحام مساماتها، ومن الصخور التى تماسكت بهذه الطريقة الحجر الرملى .

التبلور - Crystalization :

عندما تتعرض بعض الصخور الرسوبية للضغط فإنها تتماسك نتيجة لتبلور بعض مركباتها أو نتيجة لإعادة تبلورها مرة أخرى حيث تتداخل بلُوراتها وتملئ الفراغات الموجودة بينها وتتماسك جزيئاتها مكونة صخوراً رسوبية .

تصنيف الرواسب تبعًا لطرق تكوينها :

يمكن تصنيف الرواسب تبعًا لطرق تكوينها إلى ثلاث مجموعات هى :-

١ - الرواسب الميكانيكية والصخور المكونة منها :

تتكون من حبيبات فتاتية نتجت عن تعرض صخور قديمة لعمليات التجوية والنحت ونقلت إلى مناطقها الحالية بفعل الرياح أو الأنهار أو الجليد ،ويتمثل هذا النوع من الرواسب فى الجلاميد boulders والحصى والرمل والطين والتى يبين الجدول التالى تصنيفها الحجمى .

جدول رقم (١) تصنيف الحبيبات الرسوبية والصخور المكونة منها

اسم الفتيتة (الحبة)	الحجم بالمليمتر	اسم الصخور التى تتكون من تلاحمها
جلمود Boulder	٢٥٠	
زلط Cobble	٦٤-٢٥	كنجلوميرات أوبريشيا Conglomerate or Breccia
حصى Pebbel	٤-٦٤	
حبيبة Granule	٢-٤	
حبة رمل Sand	$\frac{١}{١٦}$ - ٢	حجر رملى Sandstone
حبة غرين Silt	$\frac{١}{٢٥٠}$ - $\frac{١}{١٦}$	حجر غرينى أو طفل Claystone or Shale
حبة طين	$\frac{١}{٢٥٠}$	

عن محمد حسن وزملائه ١٩٩٠

وفى كثير من الأحيان يحدث أن تتكون الصخور الرسوبية الفتاتية (الميكانيكية) من نسب مختلفة من الأحجام وهنا نستعمل تسميات مزدوجة أو ثلاثية للتعبير عن هذه الصخور مثل طين غرينى أو رمل طينى غرينى أو غرين طينى رملى.

وفيما يلى إيجاز لأهم خصائص الصخور الرسوبية الفتاتية أو الميكانيكية:

- الصخور الحصوية: Rudaceous Rocks:-

تتكون الصخور عادة من تلاحم حبات صخرية يزيد قطرها على مليمترين

وعـادة ما تتكون من صـخور نارية كـالجرانيـت وترجع فى نشأتهـا إلى عمليـات ترسيب بحرية على شـواطئ ضحلة تتم مع وجود تيار مائى ضعـيف يساعد على توزيع الرواسب الحصـوية المفككة على مسافات مـتقاربة من الشاطئ ، وتـتعرض رواسب الحصـى لتآكل الأجـزاء اللينة منها تاركـة الأجزاء الصلبـة التى تكون هنا قريبة من الاستدارة لتتـلاحم مع بعضها البعض[1] مكونة صخر الكنجلوميرات أو الرصيص. كذلك توجـد هذه الرواسب الحصوية عند أقدام السفـوح التى تتعرض للانهيـارات الأرضية متـميزة بعدم انتظام شكل حـباتها التى عادة مـا تكون حادة الزوايا angular والتى عندما تتلاحم تعطى صخراً قـريب الشبه من الكنجلوميرات يعرف بصـخر البريشـيا breccia والذى يدل وجـــوده على تماسـكه بالقـــرب من مصدره[2] وكذلك يـقتصـر وجوده فى الغـالب على المناطق المنخـفضـة المتاخـمة للمنحدرات الجبلية التى تمثل مصدراً لهشيم السفوح الناتج عن عمليات الانهيارات الأرضية بأنواعها المختلفة .

- الصخور الرملية : Arenaceous Rocks [3]:

تتكون من تلاحم حبات الرمل التى يتراوح قطرها ما بين $\frac{١}{١٦}$ - ٢ ملليمتر وتتكون عادة من الكوارتز مع احـتوائها على كـميات ضئـيلة من معادن الفلسـبار والميكا .

تتلاحم هذه الرواسب الرملية مكونة صخور الحجر الرملى sand stone ويتم تلاحمها من خلال تـسرب المياه فى مسامها ، وكما ذكـرنا فإن أهم المواد اللاحمة كربونات الكالسيـوم والسيليكا وأكاسيد الحديد ، وتترسـب هذه الصخور عادة فى المياه الشـاطئيـة الضحلة أو فى مـجارى الأنهـار أو على سطح الأرض فى مناطق

---

(١) عادة ما تتلاحم بواسطة مواد كلسية أو حديدية .

(٢) حيث لم تتعرض حباته الحصوية للدحرجة لمسافات بعيدة مما جعلها تحتفظ بشكلها الزاوى عكس الحال مع الكنجلوميرات الناتج عن تلاحم رواسب نهرية أتـت من مسافات بعيدة أو رواسب شاطئية تعرضت لتكرار نحت الأمواج .

(٣) تكون الصخور الرملية حوالى ١٥٪ من جملة الصخور الرسوبية .

واسعة تظهر فى الصحارى الآن مثل هضبة الجلف الكبير فى صحراء مصر الغربية وهضبة العبابدة بالصحراء الشرقية والتى تعرف هنا بالحجر الرملى النوبى بسمك يبلغ نحو ٥٠٠ متر وقد تكونت فى جزء كبير منها فى الجوراسى والكريتاسى الأسفل كرواسب رفرفية لبحر تثس القديم .

وبشكل عام يمكن تمييز أنواع عديدة من الصخور الرملية تبعًا لنوع المادة اللاحمة مثل الحجر الرملى الجيرى ومادته اللاحمة الكالسيت والحجر الرملى الحديدى والمادة اللاحمة أكاسيد حديد حمراء أو بنية، والحجر الرملى الطينى ومادته اللاحمة الطين ، وإذا كانت المادة اللاحمة سيليكا سمى بالحجر الرملى السيليكى.

كذلك تختلف صلابة الصخورالرملية تبعًا لاختلاف مادتها اللاحمة ومقدارها وحجم الحبيبات الرملية المكونة لها ، وكثيرًا ماتكتسب الصخور الرملية ألوانًا تختلف باختلاف المواد الداخلة فى تكوينها منها الأحمر والأصفر والبنى، فالصخر الرملى المائل إلى الحمرة تكون عادة المادة اللاحمة نوع من أكاسيد الحديد مثل الليمونيت أو الهيماتيت ، وإذا ما كان أبيض شديد الصلابة فيكون الكوارتز بمثابة المادة اللاحمة .

١ - الصخور الطينية : Argillaceaus Rocks :

تتكون من حبيبات دقيقة ناعمة متوسط قطرها ٠٥ , من المليمتر وعادة ما تتكون الرواسب الطينية من معادن الصلصال وتركيبها الكيماوى سيليكات الألومنيوم المائية الناتجة عن تحلل معدن الفلسبار وتحتوى على معادن أخرى مثل الكوارتز وأكاسيد الحديد والمنجنيز والميكا .

وتتراكم رواسب الطين فى المناطق العميقة التى تلقى فيها الأنهار حمولتها أو فى قيعان البحيرات العذبة ، وعندما تتعرض للتجفيف تفقد مياهها التى طردت من مسامها بسبب تعرضها - أى الرواسب - لضغوط كبيرة وتتماسك وتتحول إلى صخر طينى ينقسم بدوره إلى نوعين :

أ- صخر طينى متجانس : ويتكون نتيجة إرساب مواد متجانسة لفترة طويلة بحيث إذا تعرض للضغط والتجفيف تحول إلى صخر متجانس .

ب- صخر طينى صفحى : يتركب من وريقات أو صفائح صخرية رقيقة تنفصل عن بعضها إذا ما تعرض لأقل ضغط، ويتكون نتيجة عملية ترسيب متقطع لمواد غير متجانسة تتماسك بالضغط والتجفيف[١] .

ويعد الصلصال الحرارى fire clay أكثر أنواع الصخور الطينية نقاءً وخلوًا من الشوائب، خاصة المواد الجيرية والقلوية ، وله القدرة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة ولذلك يستخدم كعازل فى الأفران الكهربية ، وإذا ما ارتفعت نسبة كربونات الكلسيوم فى الصخر الطينى يسمى بالمارل[٢] أما إذا ارتفعت نسبة الكوارتز فيه فيطلق عليها الطين الرملى أو الطينية الصفراء loam .

٢- الصخور الرسوبية ذات الأصل العضوى : Organically Formed Rocks:

تتكون هذه الصخور نتيجة حدوث عمليات ترسيب لمخلفات وبقايا عضوية نباتية أو حيوانية لأحياء كانت تزخر بها الكتل اليابسة أو البحر ، وغالبًا ما تحتوى على حفريات تدل على أصولها[٣] .

وتمثل أهم البقايا العضوية فى هياكل الحيوانات أو إفرازات بعض الطحالب وجذور النباتات وغيرها ، وتتكون معظم الهياكل الحيوانية من بلُّورات معدنية ترسبت فى داخل جسم الحيوانات نتيجة لنشاطه الحيوى (البيولوجى) (حسن وزملاؤه ، ص ١٠٧) .

ويعد الحجر الجيرى lime stone الذى تكون نتيجة لتراكم هياكل حيوانات بحرية مثل الإفرازات المرجانية أو هياكل الكائنات البحرية الفقارية واللافقارية وتراكم الأصداف والرخويات mussels .

---

(١) يكون الطين الصفحى والصلصال نحو ٨٠٪ من الصخور الرسوبية .

(٢) يتكون المارل من ٥٠٪ من الطين والنسبة الباقية من الجير أو الحجر الجيرى الرملى .

(٣) تكثر فى هذه الصخور الحفريات مثل القواقع والأصداف وبعض الحفريات الأسطوانية الشكل مثل النصليات belemnites وغيرها .

ومن أنواع الحجر الجيرى ما يعرف بالحجر الجيرى السرئى أو البطروخى Oo-lithic Limestone ويبدو فـى هيئة بويـضات ملتحـمة كل بويـضة منها لـها نواة مركزية عبارة عـن محارة فى معظم الأحيان وتغلف هذه النواة طبقات مـتتالية من كربونات الكلسيوم (صفى الدين ، ص ٦٩) .

وتظهر فى مصـر على طول الساحل الشمالى حـافات مكونة من هذا النوع من الصخور تفـصلها عن بعضهـا أحواض طولية ، من هذه الحافـات ، الحافات الثلاث الممتدة شرقى بحيرة مريوط حتى العلمين .

وتعد صخور الفوسفـات نوعًا من الصخور العضوية(*) التى تكونت نتيـجة لتراكم هياكل حيوانات فقارية ومخلفات الطيور .

٣- الصخور الرسوبية ذات الأصل الكيماوى :

تتكون هذه الصخور نتيجة للتفاعلات الكيماوية والترسيب من محاليل مائية بعد تعـرضها للتبـخر أو عند بلوغها درجـة التشبع حـيث تبقى فى شكل رواسب جيـرية أو ملحية، أو تكوينات من الجـبس وتترسب الأملاح فى قـيعان بحـيرات ملحة وتعـرف الرواسب الناتجة عن التبلور من مـحاليل مائية شـديدة الملوحة على سطح الأرض باسم المتبـخرات evaporites، ويعد صخر التـرافرتين من الصخور الجيرية الكيـماوية، ونادرًا ما تحوى هذه الرواسب حـفريات حيث يستـحيل وجود حياة فى ظروف الملوحة الشديدة التى كانت سائدة فى مثل هذه المواضع .

وتتمثل الصخور الرسوبية الكيماوية الناتجة عن التفاعل الكيماوى فى ترسيب الحجر الجيرى من محاليل بيكربونات الكالسيوم نتـيجة فقدانها ثانى أكسيد الكربون [ثانى أكسيد كربون + ماء + كالسيت ⟵ بيكربونات الكالسيوم] .

ومن أنواع الرواسب الكيـماوية الأخـرى الأنهيـدريت وأملاح البـوتاسـيوم والصوديوم والنطرون .

(*) تتكون هذه الرواسب من فوسفـات الكالسيوم وبعض الكربونات والعناصر الأخرى وبعـد الفحم كذلك نوع من الصخور العضوية التى نتجت عن عمليات اختزال (تفحم) للنباتات المتراكمة فى المستنقعات .

كذلك تعد الصخور الجيرية بالكهوف الكارستية المعروفة باسم الهوابط stalactites والهوابط stalagmites من الأنواع التى تكونت نتيجة لإعادة ترسيب الكربونات من المحاليل المائية المشبعة ، وتتكون صخور الشرت chert نتيجة زيادة نسبة السيليكا فى فجوات داخل الحجر الجيرى .

أما صخر dolomite الذى يحتوى معدن الدلوميت الغنى بالمغنسيوم فيتكون عادة نتيجة للتبادل المزدوج لعنصرى المغنسيوم والكلسيوم فى الصخور الجيرية عندما تتأثر هذه الصخور بمحاليل غنية بأيونات المغنسيوم .

ويعتبر الصوان كذلك حجرا رسوبيا كيماويا وهو عبارة عن كتل مادة السيليكا غير المتبلوره (حسن وزملاؤه ؛ ص١١٣) التى تترسب فى محاليل غروية colloidal solutions وتتكون هذه الكتل فى شكل عقد nodules أو فى شكل طبقات رقيقة بين الطبقات الرسوبية .

ثالثًا - الصخور المتحولة ـ Metamorphic Rocks:

تنتج الصخور المتحولة عن تعرض الصخور النارية أو الصخور الرسوبية للضغط والحرارة ويمكن أن ينتج الضغط والحرارة عن تأثير تراكم الصخور بعضها فوق بعض أو بفعل الطاقة الناتجة عن حركات الأرض earth movements ، وينعكس أثر كل من الضغط والحرارة على خصائص الصخور المتحولة التى يمكن أن نتبينها وإن كان من الصعب الفصل بين التأثير الحرارى والتأثير الناتج عن الضغط .

وعمومًا، يحدث التحول نتيجة تغيير الظروف الطبيعية والكيماوية التى تتعرض لها الصخور النارية أو الرسوبية أو المتحولة الأصلية مما يجعل كثيراً من المعادن المكونة لهذه الصخور غير ثابت وبالتالى تتحول إلى معادن أخرى .

وتتم عملية تحويل المعادن بينما تبقى الصخور فى الحالة الصلبة وكثيراً ما تتكون للصخور المتحولة أنسجة جديدة تختلف عن أنسجة الصخور الأصلية اختلافًا تامًا .

وتتم عمليات التحول للصخور بطرق شديدة التعقيد، يمكن إيجاز هذه التحولات فيما يلى :

- **حدوث تغير ميكانيكى فى الشكل :**

ويحدث هذا التغير بسبب الضغط الزائد الذى يؤدى إلى إعادة ترتيب المعادن المسطحة الشكل مثل الميكا بحيث يكون مستوى تسطحها متعامدًا مع اتجاه الضغط .

- **إعادة التبلُور : Recrystallization:**

تؤدى هذه العملية إلى تكوين بلورة كبيرة من مجموعة بلورات صغيرة موجودة فى الصخر الأصلى قبل تعرضه لعمليات التحول، وكلما زاد مقدار التحول فى الصخر زاد حجم بلوراته ، وتتم هذه العملية بسبب التأثير الحرارى thermal effect . وقد تنمو معادن جديدة فى الصخور بسبب تكون بلورات جديدة باستخدام العناصر الكيماوية المكونة للمعادن الموجودة فى الصخر الأصلى قبل تأثره بعمليات التحول .

أنواع التحول الذى تتعرض له الصخور :

١- التحول الحرارى أو الاحتكاكى (التماسى) :

ينشأ نتيجة تأثر الصخور المحيطة بالكتل النارية مرتفعة الحرارة مما يؤدى إلى إعادة تبلور بعض أو جميع المعادن المكونة للصخر الأصلى ، فعلى سبيل المثال فى الصخور الرملية يعاد تبلور الكوارتز إلى بلُورات صغيرة الحجم متداخلة فيتكون صخر الكوارتزيت وتتحول الصخور الجيرية والدلوميت النقى إلى رخام ، بينما تتحول الصخور الجيرية التى تحتوى على شوائب من أكاسيد المغنسيوم والسيليكا إلى رخام به عروق ملونة بمختلف معادن السيليكات خاصة الأوليفين داكن اللون، كذلك تتحول الصخور الطينية إلى صخور صلبة دقيقة الحبيبات تعرف بالصخر الرنان (الهورنفلس) .

وفى كثير من الحالات تتكون المعادن الاقتصادية المتبلورة من محاليل حارة hydro thermal solutions فى شقوق الصخور المتأثرة بهذا النوع من التحول.

٢- التحول بالضغط (التحول الديناميكى) :Dynamic Metamorphism:

تتسبب الإجهادات وتغير درجة الحرارة فى تحول الصخور فى مناطق واسعة

ويساعد هذا النوع من التحول على نمو معادن جديدة مسطحة الشكل أو نصلية بحيث تتعامد جوانبها المفلطحة على اتجاه حركة الضغط ، ونتيجة لذلك ينشأ بالصخور المتحولة تركيب متوازى يعرف بالتورق أو الشستية .

ويتحول الطين الصفحى بهذه الطريقة إلى صخر الإردواز Slate الذى تترتب فيه المعادن الصفائحية كالميكا والكلوريت بحيث تكون أسطحها موازية للتشقق الإردوازى حيث تصبح حبيبات الكوارتز مفلطحة وبزيادة التحول يتدرج الإردواز إلى الميكاشست .

وتتحول صخور الجرانيت والصخور الرملية عادة إلى صخور الشست والنايس.

أمثلة لصخور متحولة :

١ - الإردواز : Slate :-

تتحول معظم المعادن الطينية إلى بلورات صغيرة من الميكا، وتنتظم هذه البلورات المسطحة فى اتجاه عمودى كما ذكرنا على اتجاه الضغط،ويتكون الإردواز نتيجة لانتظام بلورات الميكا فى نوع معين من التشقق المتوازى لاتجاه ترتيب مسطحات الميكا .

٢- الكوارتزيت :-

وينتج عن تحول الصخور الرسوبية التى تحتوى بشكل كامل تقريبًا على الكوارتز من الحجر الرملى الصوانى، ويتكون الكوارتزيت من هذه الصخور نتيجة إعادة تبلور المعادن المكونة لها تحت تأثير التحول التماسى contact metamorphism أو التحول الديناميكى ويحدث فى بعض الأحيان أن تترسب السيليكا بين حبيبات الصخور الرملية كمادة لاحمة بين حبيباته مما يؤدى بالتالى إلى تكوين الكوارتزيت.

ويختلف لون الكوارتزيت من القرمزى إلى الأحمر نتيجة لوجود شوائب من الأكاسيد الحديدية ، ويكون الكوارتز نحو ٩٨٪ من مكونات صخر الكوارتزيت

والذى يتميز بدوره بدقة حبيباته وصلابته ، ويوجد على شكل طبقات متتابعة يشبه فى ذلك الصخور الرسوبية. وتستخدم الأنواع النقية منه فى صناعة الزجاج وصناعة أحجار الطواحين وغيرها .

٣- الشست : Schist :-

مع زيادة الضغط والحرارة يتحول الفيليت إلى شست بحيث يمكن رؤية البلورات بالعين المجردة، وأكثر المعادن انتشاراً فى صخور الشست الميكا البيضاء والسوداء والهورنبلند ، ويوجد الكوارتز بكثرة فى صخور الشست ويقل بها الفلسبار، ويختلف لون الشست باختلاف التركيب المعدنى للصخر وكذلك باختلاف مستويات التشقق، وهو من الصخور المتحولة التى تنفصل بسهولة إلى وريقات رقيقة مثله ذلك مثل الميكاشست .

٤- النايس :

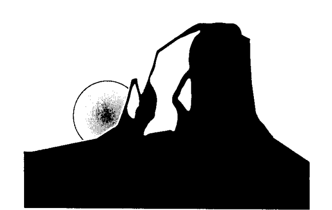
صخر متحول من الجرانيت أو الصخور النارية البلوتونية بواسطة الضغط والحرارة التى مع زيادة تأثيرها تتكون معادن أخرى وتزداد أحجام البلُورات ولا يظهر فى النايس الوريقات أو الصفائح بنفس الوضوح الذى توجد به فى صخور الشست .

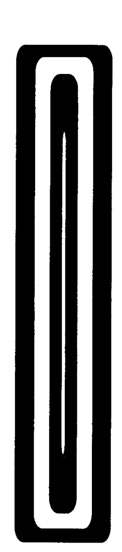
٥- الرخام : Marble:-

صخر متحول محبب يتكون من بلُّورات من الكالسيت المتداخلة وهو محول من صخور جيرية ودولوميتية ، ويختلف لونه اختلافًا كبيرًا فإذا ما كان محولا من صخور الجير والدلوميت النقية يكون لونه أبيض، أما إذا ما احتوى على شوائب مختلفة فيصبح لونه أخضر أو أحمر، ويرجع اللون الأخضر فى الرخام إلى وجود السربنتين ، كما تسبب البقايا العضوية التى توجد فى الصخور الجيرية إلى ظهور الألوان القاتمة فى الرخام .

والرخام ذو نسيج منتظم يختلف حجم حبيباته تبعًا لنوع الصخور الجيرية أو الدلوميتية التى تحول عنها .

الفصل الثانى





الأشكال الأرضية التكتونية والتركيبية

أولا - الأشكال الناتجة عن النشاط البركانى

مقدمة :

يتمثل المصدر الرئيسى للصهارة فى النطاق الأسفل من قشرة الأرض أو الحد الأعلى من طبقة المانتل ، حيث تكون الصخور فى حالة مرنة ، وعندما تتحول إلى حالة سائلة liquid state نتيجة تخفيف الضغط فوقها بسبب حدوث صدوع أو التواءات فى القشرة الخارجية تخرج منبثقة على السطح من خلال الشقوق .

وإذا ما وصلت الصهارة وما يصاحبها من غازات ومواد صلبة إلى السطح من خلال أعناق البراكين أو الشقوق السطحية يحدث ما يعرف بالاندفاع أو الثوران البركانى أو الطفح اللافى ، ويعتمد نوع الخروج أو الطفح البركانى على درجة الحرارة ومكونات الصهير وكمية الغازات والمواد الصلبة واتساع الشقوق والثغرات التى تتحرك خلالها الصهارة، ويعتمد كذلك على لزوجة الصهارة والضغط المصاحب لها .

وبالنسبة للمواد البركانية التى تتكون منها الصخور البركانية فهى فى الأصل عبارة عن مواد سائلة ولكنها تبرد وقد تتجمد فى عنق البركان أو على السطح ، وعندما تتجمد فى العنق تندفع بعد ذلك فى حالة حدوث نشاط بركانى تالى ، فتخرج بعنف فى شكل مقذوفات بركانية ، وقد يصل وزن بعض هذه الكتل أو المقذوفات إلى عشرات الكيلوجرامات ، وقد تتكون رغوة من صهارة سيليكية تتخللها غازات متنوعة ، وعندما تتجمد تتحول إلى صخر غنى بالمسام فى نسيج إسفنجى يعرف بحجر الخفاف Pumice .

أما المواد السائلة (اللافا) فتخرج من فوهة البركان وتنساب على السطح لمسافات بعيدة نسبيًا ، تخضع تلك المسافات فى مداها على عدة عوامل أهمها خصائص الصهارة من حيث درجة الحموضة أو القلوية وقوة الاندفاع والثوران

البركـانى ودرجة انحدار سطـح الأرض ، وتتراوح درجة حـرارتها عند خروجـها مباشرة ما بين ٨٠٠- ١٢٠٠ درجة مئوية مع انخفاض درجة الحرارة كلما ابتعدت عن الفوهة ، كما تزداد درجة لزوجتها إلى أن تتصلب وتتحول إلى صخور بركانية تتراكم فوق بعضها البعض حول جسم البركان .

ويصحب البركـان غازات تنبعث من الفوهة ومن الشقوق المجـاورة ـ أكثرها شيوعًا ـ بخار الماء Water vapour الذى يتكاثف فى الجو لتسقط أمطار غزيرة فى أعقاب الانفجار البركانى ، وتختلط ميـاه الأمطار فى أحيان كثيرة بالرماد البركانى مما يؤدى إلى حدوث تدفـقات طينية mud flow تسبب تدمـيرًا للمراكز العـمرانية القريبة .

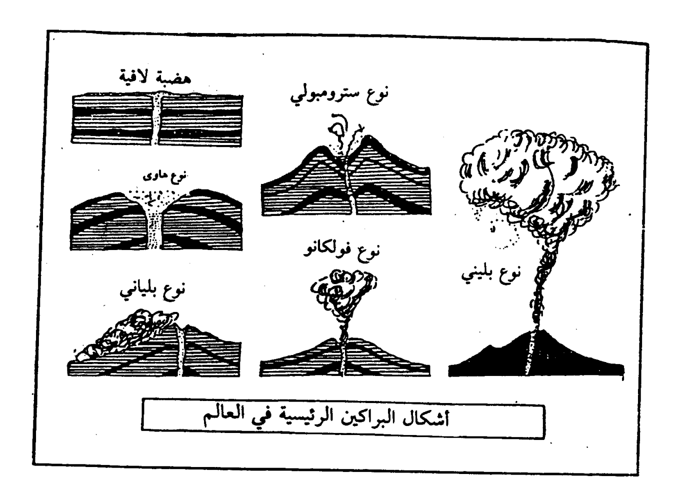
وبشكل عام إذا ما وصلت الماجما إلى السطح من خلال الشقوق أو الثغرات الموجودة بقـشرة الأرض فإنهـا تأخذ أشكالاً متـباينة من البراكين، أو تتـخد شكل تدفقات لافية مكونة ما تعرف بالأرصفة اللابية lava platforms، أما إذا لم تتمكن من الوصـول إلى السطـح فإنـها تـتـجمـع داخل قـشـرة الأرض مكونة أشكالاً مورفولوجية مميزة مثل السنام الغائر والجدد والحواجز الصخرية وغيرها من الأشكال المدفونة والتى كـثيـرًا ما تنكشف فوق السطح فى فـترات لاحقـة بسبب عـمليات التعرية المختلفة أو بسبب حركات تكتونية، وكل الأشكال البركانية ـ السطحية منها والمدفونة ـ عادة مـا تتعرض للقوى التـحاتية Gradational forces التى تعدل من أشكالها الأصلية مع مـرور الزمن، وقد تختفى الظاهرة كلية باستـثناء بعض البقايا التى تدل على وجودها فى مرحلة سابقة كما سيتضح ذلك فيما بعد .

وفيمـا يلى دراسة تحليلية لأهم الأشكال الأرضـية البركانيـة سواء السطحى منها أو المتداخل (المدفون) .

أ- المخاريط البركانية :Volcanic Cones-:

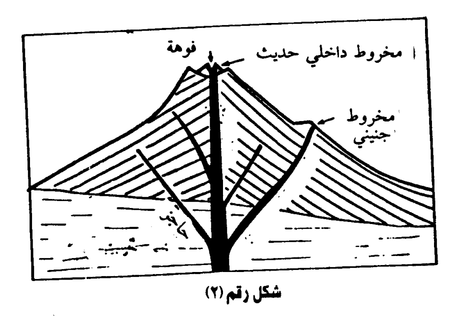
تتكون من اللافا المخـتلطة بصخور مشـتقة من قشـرة الأرض أو من الرماد البركـانى والشظايا اللافـية lava fragments ، ويتوقف انحـدار جوانب المخروط

البركانى على حالة اللافا المكونة له فى وضعها وهى منصهرة ، فإذا ما كانت قلوية alkaline وسائلة أعطت بركـانًا ذا جوانب قليلة الانحدار يمثلها نوع بـركان مونالو Maunaloa بجزر هاواى[1]، أما إذا كانت لافا حمضية لزجة acidic viscous lava فإن المخروط البركـانى فى هذه الحالة يتميز بجوانبـه شديدة الانحدار ، ويبدو من الخريطة الكنتورية أنهـا ذات جوانب منتظمة فى انحدارها حيث تتـساوى المسافات تقريبًـا بين خطوط الكنتور ، ومن هذه الأنواع بركـان إتنا بجزيرة صقليـة وبركان سترومبولى بإيطاليا كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١) .



شكل رقم (١)

(١) يبلغ ارتفاعه أكثر من ٤٣٠٠ متر ويماثل فى ارتفاعه بركان موناكيا بنفس الجزر .



شكل رقم (٢)

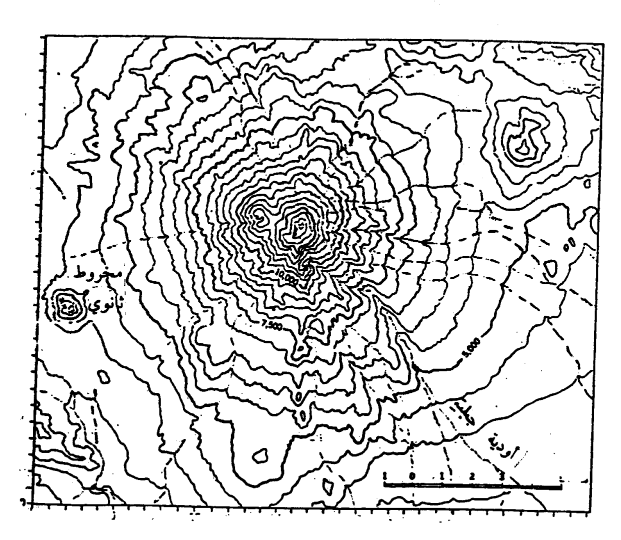
ويوضح الشكل رقم (٢) البـراكين المركبة والـتى تتكون من تعاقب طبـقات اللافـا مع الرماد البـركانـى ، ويبدأ هذا النوع من البـراكين ثورته باندفـاع عنيف للصهـير البـركانى ، وقد تندفع بعض الصـهارة من الجـوانب ـ وذلك من خلال الشقوق fissures التى توجد فى جوانب البـركان ـ لتكوّن مخاريط بركانيـة صغيرة الحجم Conelets (راجع الشكل السـابق رقم ٢) ، ويشـبه هذا النوع بركـان إتنا Etna volcano بجزيرة صقلية ، وقد تتكون هذه المخروطات الثانوية نتيجة لانسداد فوهة البركان الرئيسى .

ويوضح الشكل رقم (٣) جبل شاسـتا البركانى وهو عبارة عن قـمة بركانية ضمن سلسلة جبال كسكيد Cascade الأمريكية بارتفاع نحو ٤٨٠٠ متر ويمكننا أن نلاحظ منه العديد من الخصائص والملامح الجيومورفولوجية والتى من أهمها :-

- الشكل المخروطى الـواضح للجبل ويظهر ذلك من خـلال الشكل الحلقى المتداخل لخطوط الكنتور واقتراب المسافات بين خطوط الكنتور الداخلية - أى قرب القمـة - وابتـعادهـا كلما اتجهت نـحـو أقدام المخـروط والـذى يبدو كذلك ذو قمة أو فوهة مركزية .

- وجود بعض المخاريط [المخروطات] البركانية الصغيرة فى الشمال الشرقى والغرب ، وهى كما ذكـرنا نتجت عن خروج كميات من الصهـارة خلال الشقوق الموجودة بجوانب المخروط وتتميز بكونها أقل منسوبًا من المخروط البركانى الرئيسى .

- وجود عدد من المجارى المائية التى تنحدر فى نمط إشعاعى radial pattern كـانت فى الأصل عـبارة عن أنهـار جليـدية glaciers، ويلاحظ تراجـع خطوط الكنتور مع طول امتدادها وذلك باتجاه قمة المخروط البركانى .

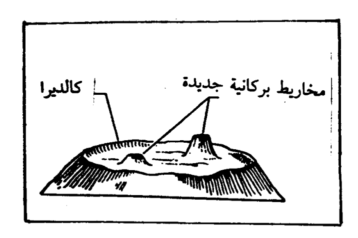


شكل رقم (٣)

يوضح قمة جبل بركانى (جبل شاستا) ضمن سلسلة جبال الكاسكيد بغرب الولايات المتحدة

- **الكالديرا : Caldera :-**

إذا ماكان اندفـاع الصهارة عنيفـا للغاية فإنه غـالبًا ما يؤدى إلى تدميـر قمة البركـان بحيث يجعلهـا تغوص فى الصهارة أسـفل العنق ، مكونا فوهة ضخـمة huge crater ، يدل وجودها على موضع بركان قديم تعرض لسلسلة من الثورانات البركانية المتعاقبة خلال فترات زمنية متباعدة .



شكل رقم (٤)

ويوضح الشكل رقم (٤) المرحلة النهائية لتكون الكالديرا والتى يمكـن تتبعها بالشرح على النحو التالى :

- شكل البركان قبل حدوث الثوران .

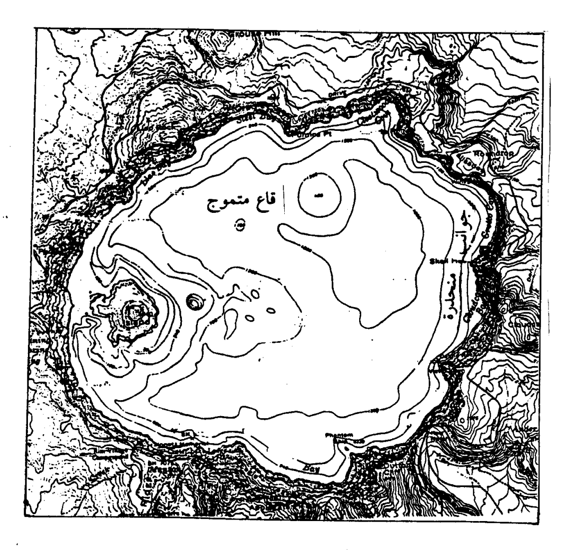
- تحطم المخروط البركانى وتدمير فوهته بسـبب الثوران البركانى وما صاحبه من انفجارات explosions.

- توقف اندفاع الصهارة وهبوط قمة البركان فيها .

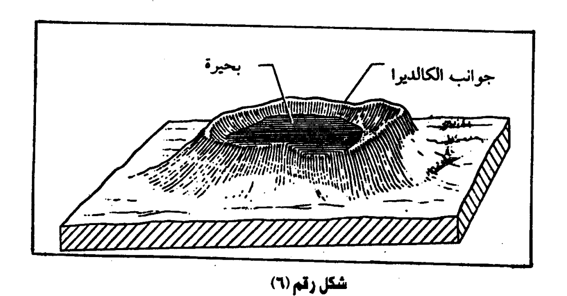
- تكون الكالديرا التى تظهر بداخلها مخاريـط بركانية جديـدة تالية لتكونهـا - أى لتكون الكالديـرا - حيث نشط الـبركـان من جـديد مـشكلا قمـمـا داخل الكالديرا.

وقد تصـبح الكالديرا موضـعًا لبحـيرة مثل بحـيرة « توبا » شمـالى جزيرة سومطرة الأندونيـسية وبحيرة « كـريتر » بولاية أوريجون الأمريكيـة ، وقد كانت البحيرة الأخـيرة فى فترات سابقة أكـثر ارتفاعًا بكثير ولكنهـا فقدت قمتهـا نتيجة لتعرضها لاندفاعات بركانية عنيفة خلال فترات زمنية متعاقبة أدت إلى تدمير - قمة البركـان - ويتضح من الشكل رقم (٥) خريطة لهـذه البحيـرة تظهر فيهـا جزيرة صغـيرة بداخل الكالديرا تعـرف بجزيرة ويزار Wezard island نشأت فى الـبداية كطفح بركانى محدود فى شكل مـخروط صغير يتميز بجـوانبه المنحدرة وقد أدت عمليات التعرية المختلفة - وخاصة الجليدية والنهرية - إلى تخفيض منسوبها لتظهر

فى الشكل الذى نراها عليه الآن ، وتتميز البحيرة نفسها كما يظهر ذلك من الخريطة بشكلها القريب من الشكل الدائرى مع إحاطتها بحافات شديدة الانحدار ترتفع عن القاع - قاع البحيرة - بأكثر من ١٦٠٠ متر أو نحو ٥٠٠٠ قدم ، ويلاحظ أيضًا تموج قاع البحيرة والتى تقع على ارتفاع ٢٠٠٠ متر فوق المستوى العام للمنطقة ، مع ظهور بعض الأودية المائية منحدرة على السفوح الخارجية منها وأهم هذه الأودية وادى كير Kerr - Valley الذى تحده حافات شديدة الانحدار عمايدل على أصله القديم كوادى جليدى ينبع من حلبة جليدية cirrque نحتها الجليد فى الحافة المحيطة بالبحيرة (صبرى محسوب والشريعى، ١٩٩٦، ص٩١).



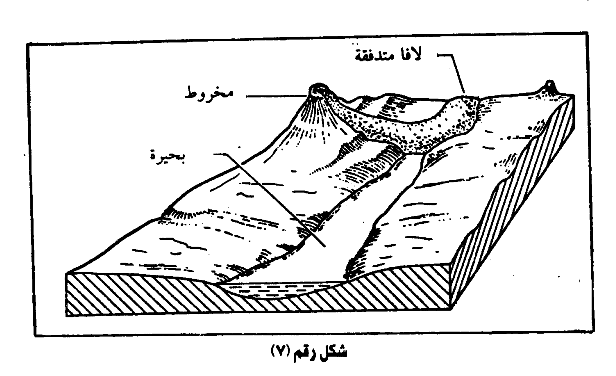
شكل رقم (٥)



شكل رقم (٦)

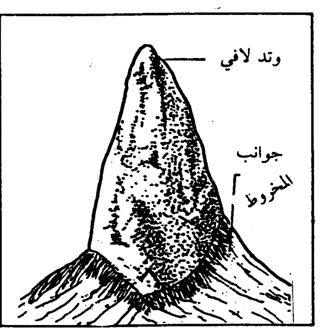
ويبين الشكل رقم (٦) بحيـرة تشغل فوهة بركان يلاحظ منه اتســاع الفوهة التى تشغلها البحيرة وشدة انحدار جوانبها وارتفــاعها المحدود نسبيًا عما يحيط بها من أراض .

وفى كثير من الأحيـان تظهر بحيرات طولية نسبيًا نتـيجة لحدوث تدفق لافى بحيث تعمل هذه التكوينات اللافية عند تجمـدها على حجز المياه فى أعالى الأنهار التى تجرى فى مناطق النشـاط البركانى كما يظهر ذلـك بوضوح من الشكل التالى رقم (٧) :-



شكل رقم (٧)

- رقبة البركان Volcanic Neck :-



شكل رقم (٨)

يتـــضح من الشـكل رقم (٨) إسـفـــينا (وتدًا) من الـلافـا lava wedge الحمضية اللزجة وقد برزت فى شكل عـمـود يشغـل فوهة البـركـان وغالبًا مـا ينـتـج مثـل هـذا الـملمـح أو الشكل عن تجمد اللافا بعد برودتها داخل عنق الـبـركـانى، ثـم تعـرض المخـروط الـبـركـــان للنحت بفــعل العمليات الخارجية التى تكشف العمود اللافى على النحو الذى يظهره الشكل السابق .

ب - الملامح والأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن طفوح اللافا:

تنتج هذه الطفوح اللافية نتيجة لتدفق كـميات ضخمة من المصهورات النارية من خلال الشقوق - غالبًا مـا تكون بازلتية تحتوى على سليكات أقل من ٤٥٪ من مكوناتها - وفتحات طولية تنتشـر فى شكل غطاءات لافية واسعة تعرف بالرصيف اللافى الذى يتميـز باتساعه وارتفاعه بـحيث يبدو أقرب إلى شكل الهضـبة، وقد يصل سمك هضاب اللافا lava plateaux إلى أكثر من ٢٠٠٠ متر مثلما الحال فى هضبة الدكن وخاصة قرب مدينة بومباى .

ومن هضاب اللافا البركانية :

- هضبة كولومـبيا وسنيك شمالى غربى الولايات المتـحدة الأمريكية وتبلغ مساحتها نحو نصف مليون كيلو متر مربع .

- شمال غرب هضبة الدكن بالهند وتزيد فى المساحة عن الهضبة السابقة .

- أجزاء من هضبة جنوب إفـريقيا وتظهر أجزاؤها المرتفعة متـمثلة فى جبال دراكنزبرج .

وتظهر الطفوح البركانية فى مناطق كثيرة أخرى من العالم مثل جزيرة إيسلندا وهضبة إثيوبيا حيث تعرف التكوينات البركانية فى الأخيرة باسم «أشانجى ومجدالا» ويزيد سمكها على ٣٠٠٠ متر ، كذلك توجد فى مناطق متفرقة فى جبال الحجاز وعسير واليمن بالجزيرة العربية، وتعرف هناك باسم « الحرات » ومن هذه الحرات حرة «الرحاء» جنوب غرب تبوك وحرة «خيبر» شمال المدينة المنورة، وتتميز الأخيرة باتساعها وتوجد قربها مدينة خيبر ، وحرة « ثنان » وهى عبارة عن امتداد لحرة خيبر إلى الشمال الشرقى، وحرة « هرمة » وتقع جنوب حرة «خيبر» وتتميز الأخيرة بتكويناتها من البازلت الأوليفينى التى تبدو فى شكل فرشات بازلتية ترجع فى نشأتها إلى الزمنين الرابع والثالث، كما أنها تشتمل كذلك على صخور بركانية أخرى حديثة مغطاة بالرماد البركانى volcanic ash، وتظهر بين تلك الفرشات البازلتية فوهات صغيرة لبراكين خامدة تمتلئ بتكوينات رسوبية حديثة ، وتكثر بسطح الحرة فواصل صخرية وشقوق، ومع تميز سطحها بالاستواء بشكل عام فقد تظهر وعورة التضاريس بها قرب الأطراف حيث تظهر قمم تتراوح ارتفاعاتها ما بين ٨٠٠ - ١١٥٠ مترًا (القلاوى ، ١٩٩١ ، ص ٧٢) ومن مناطق الحرات بعسير حرة « سراة عبيدة » وتتميز بخشونة سطحها وبروز بعض القمم البركانية وكثير من الشقوق والفواصل الصخرية .

ويوضح الشكل رقم (٩) التضاريس الأصلية وقد دفنت أسفل طفوح اللافا كما يوضح الشكل (١٠) وادى نهرى وقد قُطع مجراه فى منطقة ذات طفوح لافية ليصبح نهرًا منطبعًا Superimposed river فوق صخور الأساس .

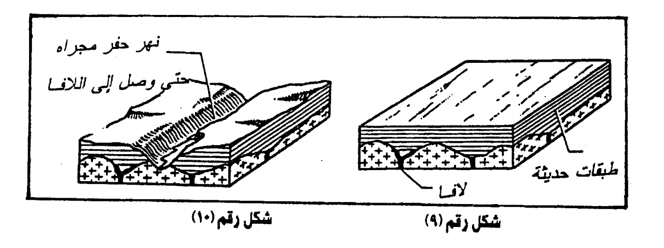
ويوجد مثال واضح على الحالة الأخيرة فى نهر سنيك بولاية أوريجون الأمريكية .

جـ - الأشكال اللافية [البركانية] المتداخلة :-

تظهر منطقة الماجما الرئيسية أسفل سطح الأرض (داخل القشرة الأرضية) فى شكل خزانات بالونية المظهر تعرف بالباثولت batholiths[1] تعد المصدر الرئيسى

---

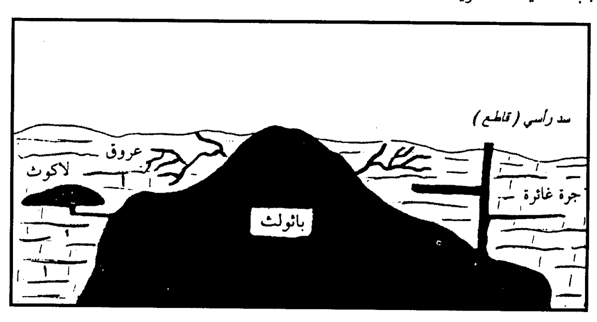
(١) تختلف الخزانات النارية المكشوفة فى الحجم من آلاف الكيلو مترات المربعة إلى نويات للجبال المنعزلة cores of individual mountains وتتطور فوقها عادة أنماط تصريف شجرى وتوثر عليها بوضوح عمليات التجوية خاصة فى مواضع الفواصل والشقوق.



شكل رقم (١٠) شكل رقم (٩)

للمواد الجرانيـتية والبازلتية ، تمتـد إلى أعلى أعمدة من الصهارة الحمـضية مكونة خزانات تتـوقف عند أعماق ليست بعـيدة من سطح الأرض تغذى بشكل مـباشر البراكين .

وجدير بالذكـر أن هناك علاقة قوية بين الأشـكال البركانية التى تظهـر فوق سطح الأرض وتلك الأشكال المتـداخلة فى القشرة الأرضـية - تحت السطحـية - والتى نتجـت بدورها عن تداخل الماجمـا (الصهارة) بين الطبـقات الصـخرية ، ويوضح الشكل التـالى رقم (١١) تجـمد وتبلـور الصخـور الماجـميـة تحت سطح الأرض واتخاذها أشكالاً متـباينة ومتميزة ، وهى عـادة ما تتميز بنسيـجها الكتلى massive texture وخشونة حـباتها Coarse grained ، وقد تتكشف فوق السطح بسبب عمليات التعرية المختلفة .



شكل رقم (١١)

وكـمـا يتـضـح من الشكل الســابق رقــم (١١) فـإن أهم الأشكال والملامح الأرضية المدفونة (المتداخلة) .

- الجدد الغائرة Sills وتعرف كذلك بالسدود الأفقـية وتبدو ممتدة فى شكل تـداخـل نـارى أفقى فـى مـوازاة سطح الطبقيـة فـيما بين الطبـقات الرسـوبـيـة ، وكثيراً مـا تنكشف فى الصخور الرسوبية والنارية على حد سـواء كما يتضح ذلك من الصـورة الفـوتـوغـرافيـة رقم (١)، ومن أشـهـر الجدد الغـائرة جدة « هواين الكبرى » شمال إنجلترا .



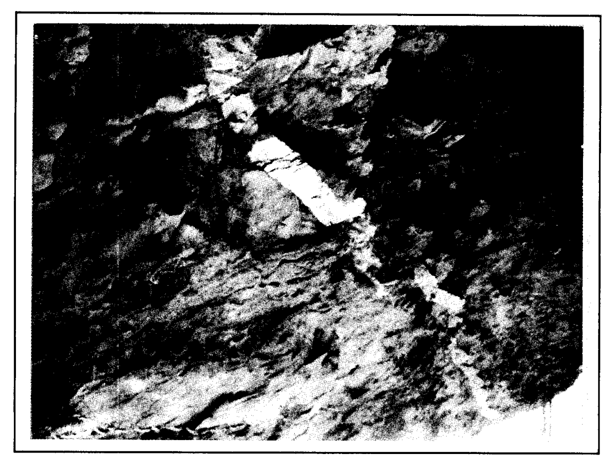
صورة رقم (١)
تداخل أفقى (جدة غائرة) من صخور الكوارتز

وقد تظهر السدود الأفقيـة كذلك فى شكل جنادل أو مندفعات عندما تقطع الأنهار مواضعها مثلما الحال فى منطقة جنادل أسوان فى مصر .

- **الحواجز الصخرية** : Dykes :-

تعرف كذلك بالســدود الرأسية وتظهر عندما تمتد أســافين من الماجما النارية متقاطعة مع سطح الطبقات إذا ما وجـدت فى صخور رسوبية أو تظهر متوغلة فى

الشقوق الرأسية أو المائلة بالصخور النارية[1] كما يتضح ذلك من الشكل السابق والصورة التالية رقم (٢) .



صورة رقم (٢)
قاطع راسى (عرق من الكوارتز) فى صخور متحولة

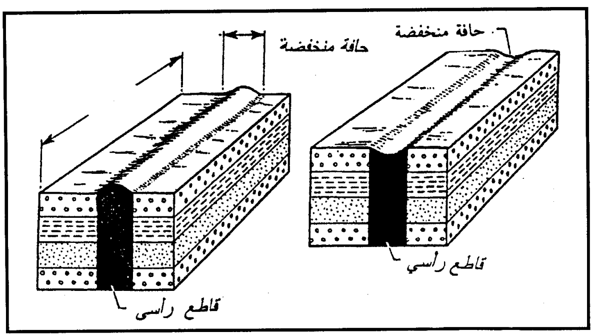
- **اللاكوليث** Lacolith :-

تتضح من الشكل السابق كتلتان من اللاكوليث تأخذان الشكل العدسى إحداهما ما زالت تحت سطح الأرض، بينما انكشفت الثانية على السطح بفعل عمليات التعرية ، ويطلق على هذا المظهر أحيانًا كتل الأعماق وعادة ما تأخذ هذه الكتل شكلاً قبويا domal يتقوس إلى أعلى بسبب ضغطها على الطبقات التى تعلوها وذلك أثناء اندفاعها باتجاه سطح الأرض .

وفى كثير من الأحوال تظهر الحواجز الصخرية الرأسية أو المائلة مكشوفة فوق سطح الأرض بعد إزالة الصخور التى تعلوها فتأخذ أحيانا شكل عرق جبلى

(١) تظهر فى كثير من الأحوال على منحدرات الجبال النارية الأقدم متميزة بالشقوق الضخمة أو الخطوط الصدعية، وعادة ما تبدو مغايرة فى لونها ودرجة صلابتها عن الصخور المحيطة بها.

ridge أو حافـة بارزة وذلك بسبب صلابة صـخورها ومقاومـتها لعـمليات النحت المختلفة كـما يظهر ذلك من الشكل رقم (١٢أ) وفى أحوال أخـرى تبدو فى شكل منخفضات ضحلة shallow - depressions طولية الشكل وذلك عندما تتكون من صخور ضـعيفة يسهل على عـمليات التعرية نحـتها وإزالتها كـما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٢ب) .



شكل رقم (١٢أ) ، (١٢ب)

ثانيا : الأشكال الأرضية الناتجة عن الصدوع والمرتبطة بها

مقدمة :-

تحدث الصدوع بسـبب قوى رأسية vertical forces وقوى أفقيـة تنتج أساسًا عن حدوث ضغط compression أو شد tension تتعرض لها الصخور .

والصدوع ببساطة عبارة عن تشققات فى قشرة الأرض تتعرض الصخور على جـوانبـها للتـزحـزح فى موازاة سطح الكسر surface of fracure، وهذه التشققات أو الصدوع تحدث فى كل أنواع الصـخور ولكنها تبدو أكثر وضـوحًا فى الصخور الرسوبية الطبـاقية ، وعادة ما تتراوح الإزاحـة ما بين نحو المللميتـر الواحد وعدة كيلو مترات .

والحقيقة أنه يصعب تحديد أى الجانبين قد استقر فى موضعه وأى منهما قد تحرك، كما أنه يصعب كذلك تحديد ما إذا كانا قد تحركا سويًا بشكل غير متماثل أو متساو.

ويطلق على السطح الذى تعرضت الصخور على طول امتداده للإزاحة displacement مستوى التصدع أو سطح الصدع fault plane ، وعادة ما يغطى بمفتتات صخرية نتجت عن تفتت وسحق للصخور أثناء انزلاق الكتل الصخرية على مستوى التصدع والذى قد يمتد امتدادًا رأسيًا أو مائلاً .

وبالنسبة لمعدلات التصدع فإنه قد تحدث على طول بعض الصدوع إزاحة تتراوح بين أقل من المتر حتى ١٢ مترًا خلال بضع دقائق ، على سبيل المثال حدثت إزاحة بوادى إمبريال بولاية كاليفورنيا أثناء تعرض المنطقة لزلزال عام ١٩٤٠م بلغت ١١ مترًا وكذلك حدثت إزاحة بوادى أوينز بالولاية السابقة أثناء زلزال عام ١٩٧٢م بلغت ستة أمتار على طول مسافة ٦٠ كيلو مترا .

وفى زلزال أكتوبر ١٩٩٢م يعتقد بأنه قد أثر فى وضع الصخور القابعة فوق مركزه والتى تأثرت حتمًا بحركة الصخور السفلى على الفالق كما ظهرت آثاره فى حدوث شقوق وهبوط أرضى فى مناطق قريبة من مركزه فى العياط ودهشور وغيرها من المناطق .

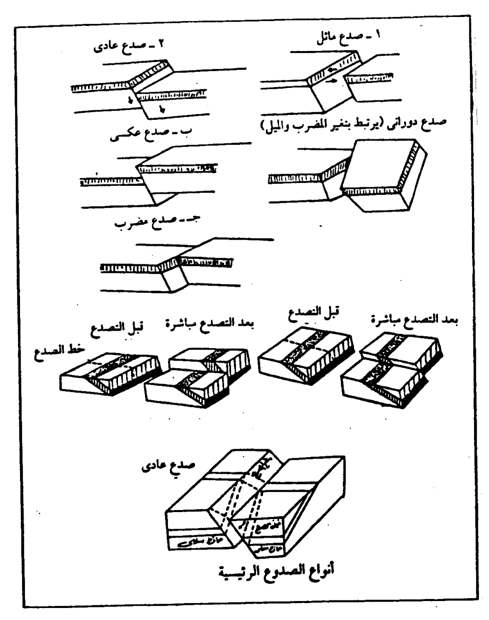
وقد تحدث الإزاحة بشكل مستمر ولكنها تتم بمعدلات بطيئة فى عملية تعرف بالزحف الصدعى fault - creep كدليل على استغراق الإزاحة فترة زمنية طويلة.

انواع الصدوع (الإنكسارات) :

أ- أنواع الصدوع وفقًا لنوع الحركة الرأسية المسببة لها واتجاه حركة الكتل .

١ ـ الصدع العادى : Normal Fault :-

يعرف كذلك بصدع الشد أو صدع الجاذبية ، يتميز بزاوية ميل كبيرة مع زحزحة ظاهرية للحائط العلوى إلى أسفل كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٣).



شكل رقم (١٣)

٢- الصدع المعكوس : Reverse or Thrust Fault:-

ينتج عن الضـغط compression ويتـزحزح فـيه الحـائط العلوى إلى أعلى وينقسم إلى قسمين :

١- الصدع الاندفـاعى العلوى : وتندفع فيه الكتلة الـصخرية المرتكزة على الحائط العلوى إلى أعلى مع ثبات الحائط السفلى .

٢- الصـدع الاندفاعى السـفلى : ينزلق الحـائط السفلى إلى أسفـل مع بقاء العلوى ثابتًا، وقـد يحدث الصدع المعكوس نتيـجة لتعرض الطبقـات النائمة (ذات

المستوى المحورى الأفقى) لضغوط شديدة تتجاوز لدونة الصخر مما يجعله يتصدع على طول المستوى المحورى للطبقة .

٣- **الصدع الدورانى** : ينشأ هذا النوع من الصدوع بفعل حركات دورانية وينقسم إلى عدة أنواع منها المفصلى والمنزلق .

ب - أنواع الصدوع وفقا لفصائلها :-

غالبًا ما توجد عدة أنواع من الصدوع متجمعة فى فصيلة واحدة من أهمها:

١ ـ **الصدوع الدرجية Step faults** وهى عبارة عن عدد متقارب من الصدوع فى منطقة ما بحيث تقسم إلى كتل متوازية ويكون اتجاه هبوط أو سقوط الحائط العلوى إلى أسفل بالنسبة للحائط السفلى ، وينتج هذا النوع من الصدوع عن حركات رأسية تؤدى إلى سقوط (هبوط) أو رفع للكتل الصخرية بشكل تدريجى (موسى وزملاؤه ١٩٦٨، ص١٥٩) .

٢- **صدوع الأخاديد والأحواض**: عبارة عن منخفضات تركيبية تحيط بها صدوع عادية أو معكوسة ذات زوايا ميل كبيرة ، وتظهر عادة على سطح الكتل القارية أو فوق قيعان الأحواض المحيطية ، ومن هذه الأخاديد وأشهرها: الأخدود الإفريقى الذى يمتد لمسافة أكثر من ٥٠٠٠ كيلو متر، وصدع وادى الراين وغيرها .

٣- **الهورستات Horsts**: تنشأ بسبب ارتفاع كتل صخرية يحدها من الجانبين صدعان لهما ميل كبير ويحدث ذلك إما بسبب رفع الكتلة الوسطى إلى أعلى أو بسبب هبوط على الجانبين كما يظهر ذلك من الشكل رقم (١٤) .

الأدلة على وجود الصدوع :

يمكن إيجاز الأدلة والآثار التى تشير إلى حدوث صدع فى منطقة ما على النحو التالى :-

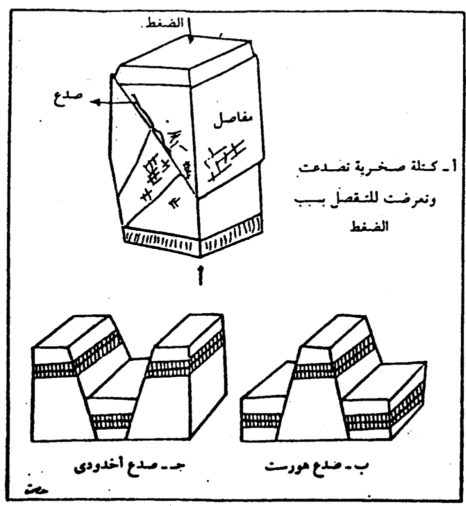
١- الخدوش :

قد تظهر نتيجة لاحتكاك الكتلة الصخرية المنزلقة بالصخور المقابلة خدوش وتحززات [1] على السطح الصدعى يمكننا من خلالها تحديد اتجاهها وتحديد اتجاه

---

(١) تشبه هذه الخدوش تلك الخدوش والتحززات التى تحدث نتيجة لعمليات التعرية الجليدية .

تحـرك الصخـور وذلك بتحـريك اليد فى الاتجـاه من السطح الخـشن إلى السطح الناعم، وعادة مـا تكون هذه الخدوش موجودة فـقط فى حالة السطوح الصدعـية ذات الزحزحة المحدودة.



شكل رقم (١٤)

٢- البريشيا التكتونية Tectonic Breccia:-

تختلف عن البريشـيا الناتجة عن التجوية الميكانيـكية والتى تتراكم فى شكل هشيم السفوح screes، وتظهر البريشيـا التكتونية فى صورة مفتتـات غير منتظمة الشكل مما يدل على حدوث زحزحـة للطبقات فوق سطح الصدع وتتـباين أحجام حباتها، فقد تكون كبيرة الحجم وفى ظروف معينة - بفعل شدة الاحتكاك - تكون ناعمة للغاية فى حجم الصلصال .

٣- **منطقة القص : Shearing Zone**:-

تتميز الصدوع بوجـود منطقة من الشقوق المتقاربة التى تمتد مـوازية لبعضها البعض تعرف بمنطقة القص الجيـولوجى ، وهى من المناطق المعرضة للنحت بمعدل أسرع من غيرها من المناطق الأخرى بسبب شـدة تقطعها ، وعادة ما تكون مواضع لبعض الرواسب المعدنية مثل النحاس والـرصاص التى ترسبت من المحاليل المعدنية المارة خلال الشقوق والكسور ، وكثيرًا ما نجد مثل هذه الظروف موجودة فى بعض مناطق الصحراء الغربية فى مصر حـيث نجد على بعض الحافات امتدادًا لعروق من الجبس والكالسيت وغيرها من المتبخرات .

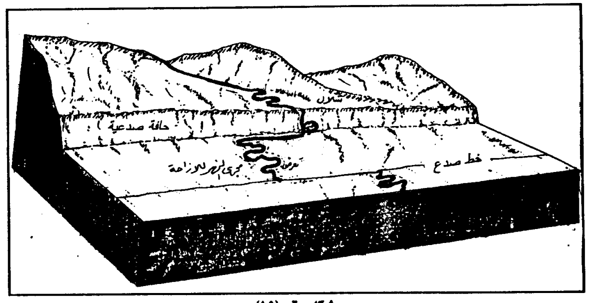
٤- **حدوث تغيـر مفاجئ** : فى اتجاه ميل الطبـقات أو فى خطوط المضرب على طول سـطح الصدع فيـما يعرف «بسـحب الطبقات »، حـيث إن حدوث مـيل مفاجئ لطبقـات متوازية يدل على احـتمال وجود صـدع فى الطبقة (مـوسى وزملاؤه ، ص١٦٢) كما قد يتسبب الصدع كذلك فى حدوث زحزحة للطبـقات الرسوبية مما يؤدى إلى تكرار صور بعضها أو اختفاء البعض الآخر .

بعض الأشكال الأرضية (الجيومورفولوجية) المرتبطة بالصدوع: -

يصعب فى كثيـر من الأحوال تحديد الأشكال الجيومورفـولوجية التى ترتبط بعمليـات التصدع faulting من الخـريطة الكنـتـورية دون الرجـوع إلى الخـريطة الجيـولوجية وتفـهم التاريخ الجـيولوجى والخصـائص البنائية للمنطقـة إلى جانب الأهمية البالغة للدراسة الحقلية فى تحديد مواضع الصدوع والأدلة على حدوثها تبعًا لما ذكر سابقًا .

ومن أهم الأشكال الأرضـيـة المرتبطة بالـصدوع والتـى يمكننا تحـديدها من الخريطة الكنتورية حافة الصدع A fault scarp وهى تنتج أساسًا بشكل مـباشر من تحرك الصخـور وتزحزحها نتـيجة لتعرضـها للشد أو الضغط المصـاحب للتصدع، وتبدو فى شكل شديد الانحدار very-steep-slope تطورت على خط صدع بفعل عمليات التعرية المختلفة على جانبى الصدع والتى بدورها تعمل على تعديل شكل الأرض بالمنطقة .

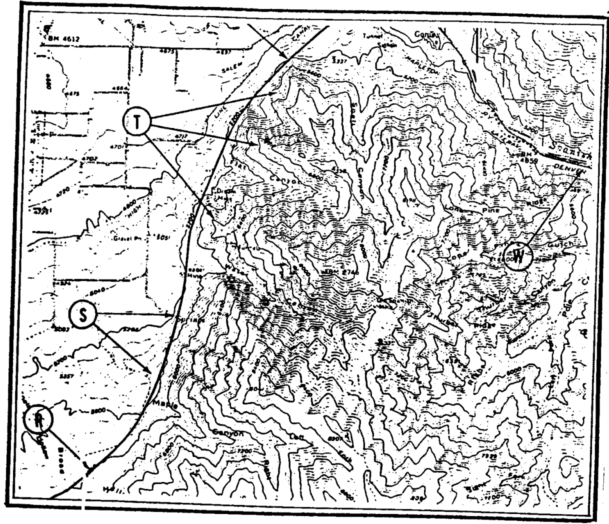
ويبين الشكل التالى رقم (١٥) حـافة صدعية تعـرضت للتزحزح على طول خط الصدع يدل عـلى ذلك ما تعرض له النـهر المنحدر فـوقها مـن قطع بمجراه، ويمثل هذا الشكل أيضًا منطقـة تصدع نشطة يدل على ذلك ما يظهر فـيها من أدلة ومؤشرات جيولوجـية وجيومورفولوجية سطحيـة واضحة ، كذلك يوضح الشكل رقم (١٦) حافة صدع تـكونت نتيجة لعمليات تصـدع سابقة (يلاحظ من الرسم المجـسم الأدلة على حـدوث التـصدع واتجـاه حـركـة الكتلتين على جـانبى خط الصدع).



شكل رقم (١٥)


شكل رقم (١٦)

وتوضح الخريطة الكنتورية رقم (١٧) جزءاً من سلسلة جبال واساتش Wasatch تعرضت لعمليات تصدع فى مرحلة سابقة يمكننا أن نحدد منها الخصائص الجيومورفولوجية التالية :-



شكل رقم (١٧)

- يبين الخط السميك خط صدع يمتد على طول جبهة سلسلة واساتش .

- تعرض الحافة للتقطع بفعل التعرية النهرية ، بينما تعرضت الأجزاء العليا منها للتعرية الجليدية .

- يمتد نهر سبانش فورك (السهم من حرف W) الذى كان كما اتضح ذلك من الخريطة الجيولوجية للمنطقة - سابقا - فى وجوده لحركات الرفع التكتونى للمنطقة وقد تمكن من الحفاظ على مجراه رغم حركات الرفع التى تعرض لها .

- تشير الأسهم المتجهة من الحرف T إلى أنوف النتوءات البينية (نهايات مناطق ما بين الأودية المنحدرة نحو الغرب) .

يلاحظ تغير الانحدار بشكل تدريجي واضح باتجاه الغرب نحو شواطئ بحيرة بونفيل Bonieville lake.

- تكثر الخوانق canyons في المنطقة ما بين حافة « لوفر » باتجاه الشرق ونحو الغرب باتجاه بحيرة بونفيل .

ومن الأشكال الأرضية التي تنتج من الصدوع، الهضاب والأحواض منها هضاب شرق إفريقيا وهضبة التبت وهضبة كلورادو ، أما الأحواض فهي ذات أنواع مختلفة مثلها في ذلك مثل الهضاب في تنوعها فهناك أحواض بحرية Sea - basins مثل بحر سلبيز وحوض البحر الأحمر الذي يتميز بوضوح الأصل الصدعي لقطاعات طويلة من سواحله ، وهناك أحواض تطوقها أذرع جبلية عادة ما تكون التوائية مثل الحوض العظيم[1] إلى الغرب من جبال الروكي بالولايات المتحدة الأمريكية وحوض تاريم وسط آسيا وحوض بحيرة فيكتوريا والتي يتضح الأصل الصدعي على سواحلها الشرقية بشكل خاص وحوض بحيرة « ألبرت » .

وقد تؤدي الحركات الصدعية إلى تقسيم سطح الأرض في المنطقة التي تعرضت لها إلى كتل مستطيلة الشكل rectangular - shaped blocks بعضها في صورة هورست والآخر في صورة حوض طولي .

ثالثاً : الالتواءات والأشكال الأرضية المرتبطة بها

مقدمة :

تنتج الالتواءات بسبب حدوث تجعدات في قشرة الأرض تحدثها ضغوط جانبية lateral compressions أو ضغط رأسي من أسفل إلى أعلى باتجاه سطح الأرض ، وعادة ما تحدث الالتواءات في المناطق الرسوبية الطبقية .

وقد تعرض سطح الأرض خلال العصور والأزمنة الجيولوجية لحركات التوائية نتج عنها السلاسل الجبلية الضخمة التي تمتد في شكل أذرع طويلة لآلاف

(١) عبارة عن هضبة تعرضت لمجموعة من الصدوع الكتلية block faulted تمثل الجبال الجزء العلوي من الصدع، ويتميز عدد من منخفضاته بالتصريف الداخلي مما يؤدي إلى تكوين بحيرات مالحة تتحول نتيجة لطاقة التبخر الزائدة إلى أسطح ملحية جافة تعرف بالبلايا.

الكيلو متـرات مثل سلاسل جـبال الهيـمالايا وتيان تشـان وكوين لن بقارة آسـيا والألب فى أوروبا والروكى وكـسكيـد فى أمريكا الشـمـالية والأنديز فى أمـريكا الجنوبية وأطلـس فى إفريقيـا ، وكل هذه السلاسل الجبلـية تكونت خلال عـصور الزمن الثالث وخاصة عصـر الميوسين الذى شهد أكبر حركة بانيـة للجبال الالتوائية فى العالم، وقد سبقتها حركتـان قديمتان تمتا خلال عصور الزمن الجيولوجى الأول أقدمهما الحركـة الكاليدونية نسبة إلى مرتفعات كاليدونيـا شمالى أسكتلندا والثانية الحركة الهـرسينية نسبـة إلى مرتفعات الهـارتز الألمانية ، ونظراً لقدمهـما فإنه من الصعب الآن تحديد وتتبع أبعاد هذه الجبال على الخرائط التضاريسية حيث تعرضت خلال تاريخـها الطويل لعمـليات التعـرية المختلفة وتم بذلك نحـتها وتخـفيضـها وتحويلها إلى أشكال هضبية أو سهلية منخفضة[1] .

أ- اجزاء الالتواء (الطية Fold) :-

يتضح من الشكل التالى رقم (١٨) الأجزاء المختلفة للطية كما يلى :-

١- **طول الطية** : عبارة عن امتداد الطية على طول خط المضرب strike -line .

٢- **عرض الطية** : يمثل المسافة بين الطبقات الملتوية (المطوية) folded فى اتجاه الميل ويتفـاوت العرض تفـاوتًا كبـيرًا للغاية مـا بين عشـرات الكيلو متـرات وعدة سنتيمترات.

٣- **سطح محـور الطية**: هو المستوى أو السطح الذى يـقسم الطية إلى قسمين مـتماثلين تقريبًا ، وأحـيانًا ما يكون عبارة عن سطح منحنـى ويمكن تحديده بخطوط المضرب وذلك بمقدار واتجاه ميله.

٤- **محور الطية** : هو الخط الناتج عن تقاطع مستوى المحـور مع سطح الطبقة الملتوية ولكل طية عدد من المحاور قد تكون فى وضع رأسى أو مائل أو أفقية الامتداد.

٥- **جناحا الطية limbs**: يقصد بهما الطبقات المائلة على جانبى السطح المحوري.

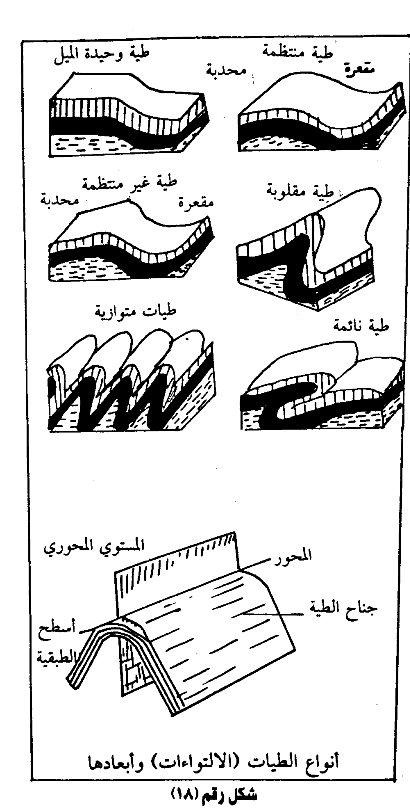
٦- **قـمة الطيـة** : هى نقطة تمتـد على منسـوب أعلى منسـوب من الطية المحـدبة ، وتوجد فى شكل طبقة من الطبقات المكونة للطية .

---

(١) قد توجد كذلك فى الصخور البركانية وكذلك فى الصخور المتحولةوقد تكون فى شكل تموجات ripples صغيرة الحجم أحيانا ما تكون مجهرية.

٧- خط القـمـة : هو الخـط الذى يصـل بين النقـطة التى تقع فى أعلى جزء من الطيـة ، ويعـرف مستوى القـمة بالمستوى الذى تقع عليـه خطوط القمة .

٨- قـاع الطيـة : هو النقطة التى تمر بأدنى منسـوب للطية المقعرة ويوجد قاع لكل طبـقة من طبـقات الطية المقعرة .



أنواع الطيات (الالتواءات) وأبعادها

شكل رقم (١٨)

ب- أنـواع الطيات :-

عنـدمـا تتـعـرض الطبقات لضـغوط أقوى من حدود مرونتها elastic limit فإنها تتشكل ببطء فى صورة التواءات (طـيات) تتمـثل أهم أنواعها فيما يلى:-

١- الطيـات وحـيـدة الميل : Monoclines

وهى عبارة عن طيات تميل مسـافة غـير مـحددة فى اتجاه واحـد، أو بمعنى آخر هى عبـارة عن التواء شبه درجـى فى طبقات أفقـية أو خفيفة الميل بحيث يحدث تغير فى قيمة زاوية الميل .

ومن أمثـلة هذه الأنواع من الطيات فى مـصر تلك الطيـة التى تحتل منـطقة أبوسمرة وجـروف ساحل « السيرة » على الـساحل المتوسطى قرب رأس الضـبعة والتى تأخذ اتجاهًا عامًا نحو الشمال الشرقى (صبرى محسوب، ١٩٩٣) .

٢- الطيات المحدبة Up Folds :-

تتقوس فيها الطبقـات إلى أعلى مع وجود الصخور الأقدم فى الوسط وميل جناحا طية نحو الخارج بعيدًا عن المحور وأحـيانًا يميلان فى اتجاه واحد ، وبالنسبة لمحور الطية المحدبة فإنه قد يبدو فى وضـع رأسى أو مائل بدرجة متفاوتة، وعندما ينحت السطح العلوى للطية تظهر فى الوسط الطبقـات الأقدم بينما تظهر الطبقات الأحدث على الجانبين (شكل رقم ١٨) .

٣- الطيات المقعرة Down Folds :

تتقوس الطبـقات نحو الداخل فى اتجاه المسـتوى المحورى الذى يمثل فى هذه الحالة قاع الطية كـما يميل الجناحان نحوه، وتظهر كل من الطيـات المحدبة والمقعرة تغيرات فى أبعادها واتجاهات أجـزائها، فقد تظهران فى شكل منتظم بعض الشىء كطيات محدبة أو مقعرة منتظمة الأبعاد، بحيث يكون المستوى المحورى عموديا على المسـتـوى الأفقـى ويميل الجناحـان بزوايا مـتسـاوية ويكـونان - فى نفس الوقت - متساويان فى الطـول. وفى حالة ميل المستوى المحورى على المسـتوى الأفقى تظهر طيات محدبـة وطيات مقعرة غير مـنتظمة وهناك الطية المقلوبة Overturned ويزيد فيـها ميل أحد الأطراف على ٩٠درجـة بحيث يصبح أحـد الطرفين أسفل الطرف الآخـر ، وعندما يصـبح طرف الطية فى وضع أفقى أو شبه أفـقى تعرف فى هذه الحالة بالطية النائمـة (المضجعة) recombent وكثيرًا ما تتـعرض هذه الطية للتصدع وذلك نتيجـة لزيادة ميلها عن وضعـها السابق لهذه الحالة مـباشرة، وحينئذ تعرف بالطية المتصدعة Overthrust .

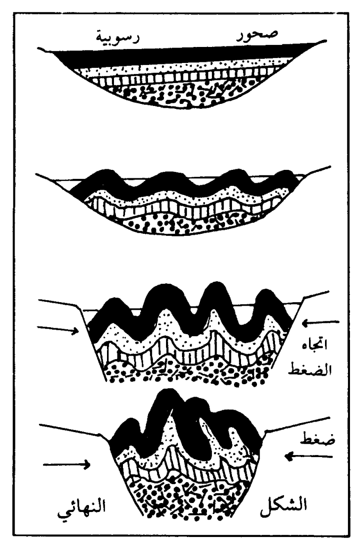
وتوجد أنواع أخرى من الطيات مثل الطيـة المصطبية وتوجد فى المناطق التى تعرضت لضغوط معتدلة وتعد ذات أهمية كبرى كمصايد لتجمعات البترول والغاز الطبيعى حيث يمكن اكتشافها بواسطة أجهزة مساحية متقدمة .

ومن الطيات أيضًا الطيـة القبابية domal fold وهى عبارة عن طيـة محدبة تميل فيهـا الطبقات ميلا خـارجيًا فى جميع الاتجاهـات من نقطة القمة (الوسط) ونادرًا ما يكون القبـو ذا حدود دائرية ، إذ عادة ما يستطيل فى أحـد اتجاهات ميل الطبـقات، ومن هذه البنيـات القبـابية جبل مـغارة بسـيناء ، وهناك كذلك الـطية الاختراقيـة وتنشأ بسبب حدوث ضغط رأسى من أعلى إلى أسـفل على طبقة لدنة مثل الملح الصخرى والجبس ، وفى هذه الحالة تنساب إلى أعلى فى المواضع الأقل

ضغطًا ويرتفع الصخر نتيجة لعملية الانسياب اللدن إلى أعلى ويحدث بالتالى تقوس الطبقات العلوية تقوسًا تدريجيًا مكونًا قبة ملحية Salt dome مع انثناء الصخور التى تعلوها مكونة طية محدبة تسمى بالطية الاختراقية ، وقد تظهر الطية الاختراقية بفعل الصهارة النارية ودفعها للصخور الرسوبية التى تعلوها كما يتضح ذلك فى كثير من قباب الأقواس السورية شمالى سيناء

جـ - الجبال الالتوائية :

تتكون الجبال الالتوائية من كتل ضخمة من الصخور الرسوبية الملتوية التى يصل سمكها إلى أكثر من ۱۳٫۰۰۰ متر، وهذه الصخور الرسوبية السميكة قد تكونت فى بادئ الأمر فى وضع أفقى ثم حدث لها التواء بسبب تعرضها لضغوط جانبية كما ذكرنا آنفًا عملت بالتالى على تناقص امتدادها الأفقى وزيادة سمكها ، ويعتقد البعض أن الجبال الالتوائية قد تكونت بسبب تجعدات أصابت قشرة الأرض بعد برودتها ولكن هذا الاعتقاد لم يعد مقبولاً الآن حيث إن نشأة الجبال الالتوائية وغيرها من أشكال سطح الأرض أعقد من ذلك بكثير .



شكل رقم (۱۹)

وقد أوضح هولمز Holmes. A كيفية نشأة الجبال الالتوائية كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (۱۹) .

۱- بحر جيولوجى قديم Geosyncline ينحصر بين كتلتين قاريتين .

۲- تحركات فى طبقة السيما أدت إلى اقتراب الكتل القارية من بعضها البعض .

٣- الاقتراب الواضح للكتل القارية من بعضها أدى إلى التواء شديد لرواسب البحر الجيولوجى القديم (Robinson, A and Hudson, p, 77) .

٤- الصورة النهائية للالتواء.

والواقع أن الجبال الالتوائية البسيطة نادرة الوجود ومن أمثلتها جبال جورا Jura فى فرنسا حيث تعد هذه الجبال بمثابة التواء محدب واضح الأبعاد، أما الالتواءات المعقدة فهى أكثر انتشارًا مثلها فى ذلك مثل غيرها من ظاهرات سطح الأرض المعقدة والبالغة التعقيد .

الظاهرات والأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بالالتواءات

القباب والأحواض Domes and Basins :-

عرفنا مما سبق أنه مع تعرض الصخور لحركات أرضية معينة فإنها قد تتشكل فى صورة قباب بركانية أيضًا ، وإن كانت الأخيرة ترتبط بالبراكين وليست بالحركات الالتوائية ، وبالنسبة للقباب الملحية فإنها ـ كما أشرنا ـ تنشأ بطبقات القشرة الأرضية كنوع من الالتواءات الاختراقية حيث تتكون بداخلها وأسفلها كتل ضخمة من الأملاح ، وينتشر هذا النوع من القباب فى ولاية تكساس الأمريكية وسهول شمال ألمانيا وفى مناطق متفرقة من روسيا وإيران والساحل الشرقى للخليج العربى وبعض سواحل مصر والجزائر وساحل جيزان السعودى على البحر الأحمر[1] .

وتظهر هذه القباب مغلفة من الخارج بغطاءات صخرية صلبة من الدلوميت والجبس والأنهيدريت والحجر الجيرى وهى بشكل عام تختلف فى مظهرها المورفولوجى من منطقة إلى أخرى ، كما أن الكثير من الجزر فى الخليج العربى قد نشأت كقباب ملحية .

وعندما تتعرض الطبقات الصخرية الرسوبية لحركات رفع تكتونية فإنها قد تتشكل فى طيات محدبة متباينة الأبعاد ومنها الطيات المحدبة العظمى فى قوس

(١) تظهر القباب الملحية فى مواضع عديدة من ساحل جيزان السعودى على البحر الأحمر، كما تعد جزر فرسان الواقعة أمامها بمثابة قباب ملحية بازغة فوق سطح البحر.

سنسناتي وسان رفائيل بولاية يوتاه الأمريكيـة ، طيات يعلق والمغارة ولبنى وحلال وغيـرها فى شمال سينـاء والتى تبدو ذات محاور تمتـد من الشمال الشـرقى باتجاه الجنوب الغربى مع تميـز سفوحهـا الشرقية والجنوبيـة الشرقية بشـدة انحدارها على العكس من السفـوح الشمالية والشـمالية الغربيـة التى تتميز بـانحداراتها الخفـيفة ويرجع ذلك إلى قدوم الحركات التى سببتها من الاتجاه الشرقى .

وتبرز الجبـال القبابية شـمالى سيناء - بشكل فـجائى وسط سهول مـستوية تنتظم فى خطوط مـتوازية مـحصورة بـين خطى كنتور ٢٠٠-٥٠٠ مـتر ، وهى تختلف فى أطوالها وارتفـاعاتها وإن اشتركت مع بعضهـا البعض فى كونها ترجع إلى حركات تكتونية واحدة مع تكونها من صـخور الحجر الجيرى والطفل والرمال مع اتخاذها اتجـاها عامًا نحـو الشمال الشـرقى ، كل واحد منها يبـدو فى صورة بيضية oval shaped غيـر منتظمة تتميـز الجوانب منها المواجـهة للشمـال الغربى بانحدارها المعتدل ما بين ٥-٢٠ درجة. بينمـا يشتد الانحدار فى الجوانب الجنوبية الشرقية ليـتراوح ما بين ٤٥- ٩٠ درجة مع ظهور خطوط الصدوع الـعرضية التى صاحبت عملية الالتواء folding

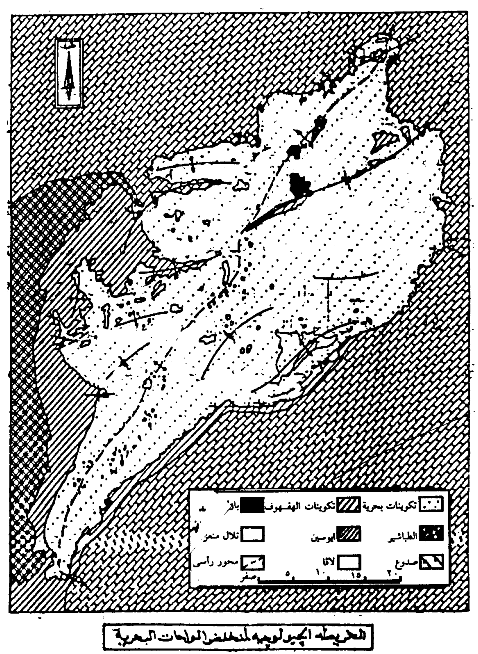
وإذا أخذنا جبل « مغارة » كمثال للقبـاب بشمالى سيناء فإننا نجده عبارة عن قبو طـولى يبـلغ طـولـه نـحو ٤٠ كيلو متـر وعرضه ٢٤ كيلو متر ويتراوح ارتفاعه ما بين ٥٠٠- إلى ٦٤٠ مترًا فـوق مستوى سطح البحر وتتضمن كـتلته عدة قمم تمتد متوازية فيما بينها وممتدة فى نفس الاتجـاه العام للكتلة الرئيسية ، وتتخذ القمم الشرقية شكلاً حلقيًا تنحدر بشدة فى جوانبها المتقابلة والمتجهة نحو الداخل، وتلك سمات رئيسية مميـزة للبنيات القبابية domal structures ، وذلك بسبب تعـرضها للعديد من التصدعات وتأثرها بعمليـات التعرية المختلفة والتى أدت إلى نحت قمة القبـو وكشفت النقـاب عن التكوينات الجوراسيـة الأقدم والتى يبلغ سمكهـا نحو ٢٢٠٠ متر (عوض ، ١٩٦٠، ص ١٢) .

ويعد منخفض الواحات البحرية فى صحراء مصـر الغربية موضعًا لقبو قديم تعرض للنحت والتـخفيض، وبسبب تأثر البنية القـبابية بالحركات الـتكتونية والتى تظهر آثارها فى ميل الطبقـات فى الحافات المحيطة به والتلال الداخلية ميـلاً خفيفًا يتراوح ما بين درجـتين وعشر درجات فى كل الاتجاهات ، كذلك تظهـر الحافات

الصدعـية واضحة فى بعض المواضع التى تـأثرت بالتصدع ، ونجد أيضًـا انعكاسًا تضاريسيًا للطيات المحلية بالمنخفض فى ملامح طوبوغرافية معكوسة، أو بمعنى آخر فى وجود أودية طية محدبة anticlinal valleys ووجود حافات وتلال طية مقعرة، مثـال الحالة الأولى: وادى الحارة بالحـافة الشرقيـة ووادى التبينيـة بالحافة الغـربية وكذلك الطيات القعـرة جنوب نتوء التبينية ، وليست التـلال المنعزلة المنتشرة داخل المنخفض سوى البقية المتبقية من القبو القديم .

ويبـدو من الشكل رقم (٢٠) أن مـنخـفض الواحـات البـحـرية ذو شكل بيضاوى يتـجه محوره الرئيـسى من الشمال إلى الجنوب الغربى يمتـد منه خليجان ضيـقان عند نهايتـيه الشـمالية والجنوبيـة، ويبلغ أقصى طول له من الشـمال إلى الجنوب ٩٤ كيلو متـر وأقصى اتساع له لا يزيد على ٤٢ كيلو مـتر ويقل منسوب قاع المنخفض عن مستوى سطح الهضبـة المحيطة والتى حفر بها بحوالى ٢٠٠ متر وتبلغ جملة مساحته ١٨٠٠ كيلو متر مربع، ويتميز عن باقى منخفضات الصحراء الغربية بإحاطته إحاطة تامة بحافات مرتفعة شديدة الانحدار نحو قاعه، إلى جانب تميزه بكثرة التلال الصغيرة المنعزلة التى يفـوق بعضها فى ارتفاعه الحافات escarp-ments المحيطة بالمنخفض .

ويوضح الشكل رقم (٢١) خريطة كنتورية تظهر بنية قبابية محلية تعرف بقبو جرنيـفيل Grenville بولاية ويومنج الأمـريكية تعـرضت لعـمليات تعـرية طوال تاريخها الجيولوجى مما أدى إلى تقشر الطبقات الصلبة وتكوين كويستات أو حافات أكثر تحديدًا تعرف باسم ظهور الخنازير hogbacks وكان يسود المنطقة نمط تصريف إشعاعى radial drainage pattern تجرى خلاله الأنهار على سفـوح كويستات غير مكتملة الشكل ، ولكن مع سيادة عـمليات التعرية ظهر نمط حلقى annular Pat-tern كمـا يظهره الشكل السابق والذى يـظهر كذلك مـرحلة النضج التى تعيشـها المنطقـة ، وقد انعكس ذلك أيضًـا فى وجود نوع من الكويسـتات تمتـد فى شكل حلقى جيد التطور .



الخريطة الجيولوجية لمنخفض الواحات البحرية

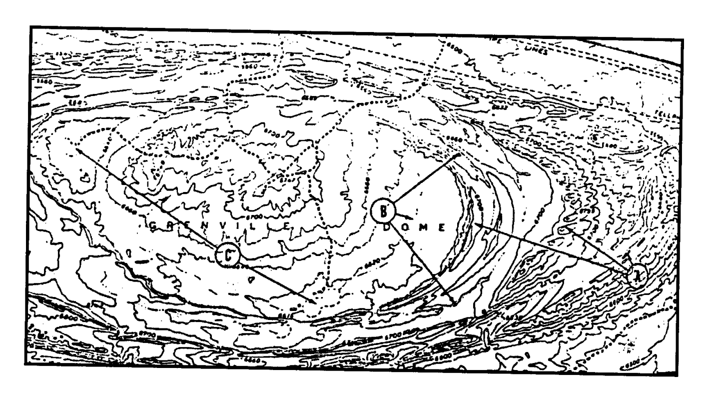
شكل رقم (٢٠)

ويمكننا أن نلاحظ من الشكل السابق عدة ملاحظات نجملها فيما يلى :-

١- وجود كتلة مرتفعة فى الوسط مكونة من صخور صلبة لم تستطع عوامل التعرية إزالتها يحدها خط كنتور ٦٧٠٠ قدم مع وجود قمتين بارتفاع ٦٧٤٧ قدم يفصل بينهما نطاق متسع أقل منسوبًا (صبرى محسوب والشريعى ، ص ٩٦).

٢- تقطع سطح القبو الخارجى بواسطة عدد من الأودية النهرية .

٣- تبين الأسهم الممتدة من النقطة A امتدادات أوجه الكويستات التى تطورت بالقبو .



شكل رقم (٢١)
قبو جرينفيل بولاية وديومنج الأمريكية

٤- تبين الخطوط الممتدة من النقطة B نمط متطور من نظم التصريف الحلقى.

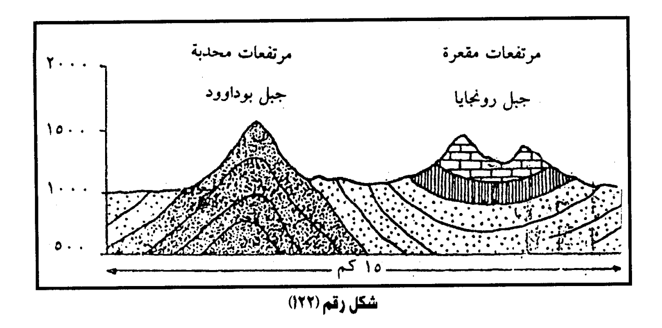
٥- يشير السهمان الممتدان من النقطة C إلى مواضع الصخوز اللينة التى تحتلها منخفضات مركزية Central - depressions تظهر فوق قيعانها بحيرات بلايا playa lakes .

الأشكال المرتبطة بالمحدبات والالتواءات :-

ليس أمرًا مؤكدًا أن تكون الجبال المرتفعة فى الوقت الحاضر عبارة عن طيات محدبة والأودية والمنخفضات طيات مقعرة ، ولكن قد تظهر الجبال فى طيات مقعرة وتشق الأودية مجاريها على طول امتداد محاور طيات محدبة حيث يسود النحت فى مناطق الشد الصخرى على طول هذه المحاور على عكس الحال مع مناطق الضغط فى الطيات المقعرة والتى يزداد تماسك صخورها بسبب شدة اقتراب جزئياتها من بعضها البعض مما يجعلها أكثر مقاومة لعمليات التعرية المختلفة .

ويوضح الشكل رقم (٢٢أ) قطاعًا فى جبال قصور شرق عين شرفا بالجزائر يظهر منه جبل رونجاريا الذى يحتل موضع طية مقعرة ويبلغ ارتفاعه نحو

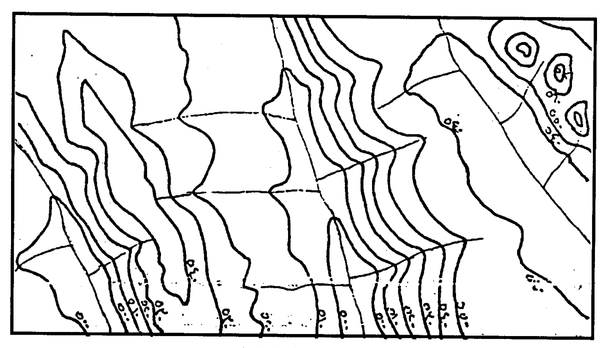
١٥٠٠متر، بينما يظهر جبل أبو داود فى موضع التواء محدب ويزيد ارتفاعه إلى نحو ١٦٥٠ متراً ، يلاحظ من الشكل أيضًا أنواع الصخور الرسوبية التى تشكلت بالمنطقة ومدى تأثيرها على الشكل العام للتضاريس .



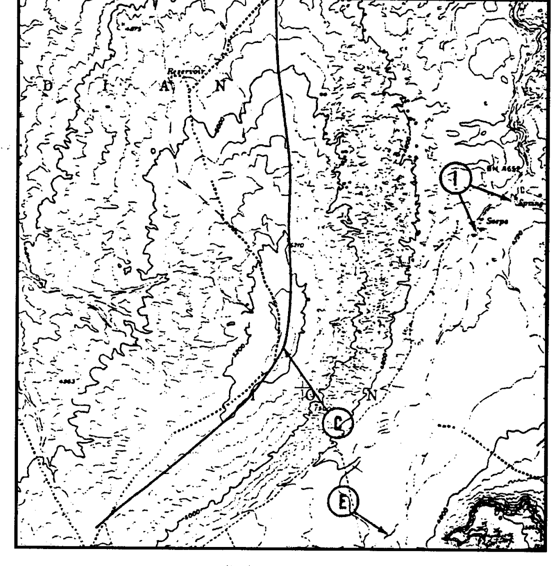
شكل رقم (١٢٢)

ويلاحظ من الشكل رقم (٢٢ب) وادى طية محدبة نحت مجراه على طول امتداد محور الطية المحدبة ويعرف هذا المحدب بالمحدب المنحوت breached anticline يلاحظ من الشكل أيضًا شدة الانحدار فى الجانبين تجاه الوادى وذلك من خلال اقتراب خطوط الكنتور التى تتراجع فى مواضع الأودية العكسية obsequent v المنحدرة نحو الوادى الرئيسى - ويلاحظ كذلك أن الانحدار الهين نحو الشمال الشرقى والجنوب الغربى فى شكل مورفولوجى أقرب إلى الكويستا.

ويوضح الشكل رقم (٢٣) منطقة جبلية تعرضت للالتواء الخفيف gentlly folded بمنطقة Monument valley ورغم الوضع الأفقى للطبقات فى معظم الأجزاء التى يمثلها الشكل فإنه يمكن تتبع محور « محدب أورجان » Organ anticline على الخريطة موضحًا بالخط السميك كما يشير السهم C ويشير السهم من E إلى التواء أولجيتو المقعر Oljeto syncline ، وفيما بين المحورين يظهر ميل شديد للطبقات على الجانب الغربى للوادى .



شكل رقم (٢٢ب)



شكل رقم (٢٣)

بعض الأشكال والملامح الجيومورفولوجية والتركيبية المرتبطة بأنواع الصخور :-

يندرج تحت هذا العنوان العديد من الأشكال والملامح المرتبطة بصخور بعينها سواء كانت رسوبية أو نارية بأنواعها المختلفة .

ونظرًا لأهمية الأشكال والصور التركيبية المرتبطة بالصخور الرسوبية سنكتفى هنا بإيجاز لأهمها وأكثرها وضوحًا وتأثيرًا على فعالية العمليات الجيومورفولوجية .

١- الأشكال المرتبطة بالصخور الرسوبية الأفقية دون تعرضها لحركات أرضية :-

عادة ما نجد أن الطبقات الرسوبية الأفقية horizontal strata توجد فى شكل تتابع طبقات تختلف فى درجة مقاومتها لعمليات التعرية، فنجد أن الطبقات الأكثر صلابة تشكل جروفًا cliffs بينما نحتت الصخور اللينة الهشة friable rocks لتكون سفوحًا أقل انحدارًا وينتج عن ذلك نوع من الطوبوغرافيا تتعاقب فيها الجروف مع الدرجات benches يطلق عليها مصطلح cliff and slope topog-raphy، وعادة ما نجدها تتعرض لحركات مع انهيارات أرضية (صورة رقم ٣) مع تميز قمم التلال فى أغلب الأحوال باستوائها (Morisawa,M, أ 4) مثلها نلاحظ ذلك، التلال المنعزلة isolated hills والمنتشرة فى قيعان المنخفضات الصحراوية مثل تلال منديشة والتنبينية بالواحات البحرية والأخير عبارة عن كتلة جيرية مستطيلة الشكل تقريبًا تتميز باستواء قمتها، والتلال المنتشرة فى منخفض واحات سيوة والتى تتماثل فى تكوينها مع تكوينات الحافة الشمالية الجيرية التى تركز على تكوينات مغرة الهشة منها تل الحريقة وأم الحرس وجبل المرتزق وغيرها من التلال التى تتعاقب فيها صخور صلبة مع صخور لينة مع تميز قممها بالاستواء .

٢- الأشكال التركيبية الأولية :-

تعد الصخور الرسوبية من أفضل أنواع الصخور التى يمكن دراسة التراكيب الجيولوجية عليها؛ لأن طبيعة تكوينها تسهل معرفة أشكالها الأصلية قبل حدوث أى تشوه لها ، فأى تغير فى الوضع الأفقى الذى ترسبت عليه فى الأصل يدل على حدوث حركات أرضية، والكثير من الأشكال التركيبية ينتج

عن عوامل خارجية أثرت فى الترسيب ويطلق علي تلك الأشكال التراكيب الأولية primary structures وذلك لأنهـا تتكون أثناء تكوّن الصـخـور نفـسهـا (حـسن وزملاؤه ، ١٩٩٠ . ص ١٢٦)(*) .



صورة رقم (٣)
انهيارات ارضية على احد السفوح الجبلية بعسير

- **الترقق Lamination** :

يبـدو المظهر العـام فى شكل صفـائح رقـيقـة لا يزيد سمكهـا عن بضعـة ملليمـترات وعادة مـا تتميـز به الصخور الـرسوبية دقـيقة الحـبيبـات مثل الطفل والغرين.

- **التطبق الكاذب False Bedding** :

يظهر فى شـكل خطوط غير مـوازية لمستـوى الترسيب ولا تدل عـلى تتابع طبقى حقيقى ولكنها تنتج أساسًـا بسبب تأثير تيارات كانت سائدة أثناء تراكم هذه

(*) سوف نقتصر على معالجة مختصرة للتراكيب الأولية الناتجة عن عمليات خارجية فى الصخور.

الرواسب، وقـد تتعرض بعـض الجروف الساحـلية لمثل هذا المظهـر نتيـجة لتـأثير التيارات المائية عليها مثلما الحال على جروف سواحل عجيبة غرب مرسى مطروح.

وتوجـد كذلك ظاهرة التطبق المتـقطع cross bedding وهو نوع من التطبق الكاذب تتعارض فيه رقائق الطبقـة الواحدة وعادة ما يسود فى المناطق التى تتعرض لتيار متغير الاتجاه.

ويرى البعض أن التطبق المتقطع الذى يتميز بكبر سـمك الطبقة المتقطعة يشير إلى رواسب تراكمت بفعل الرياح (كثبان رمليـة) أو التطبق المتقطع صغير الحجم فتـعد رواسبـه من نتاج إرسـاب بحرى فى ميـاه ضحلة تأثرت بفـعل الأمواج أو التيارات السطحيـة، أو قد تكون رواسب نهرية أو بحيرية بعيـدة عن أثر تيار النهر الرئيسى ، والواقع أن ميكانيكية تكوين التطبق الكاذب غيـر مفهومة ـ حتى الآن ـ فهمـا دقيقًا (حـسن وزملاؤه ، ص ١٢٨) ، وإن كان البعض يـرى أن اختلاف حجم الحبيبات المكونة للصخور تعد عاملاً مهما فى إبراز مثل هذا الملمح.

- الفواصل الصخرية Joints :-

من الملامح الجيومورفولوجية التى تميز الصخور بجميع أنواعها ، وهى عبارة عن مستويات أو سطوح للتشقق تقسم الصخر إلى أجزاء مختلفة الحجم ولا يرتبط بها تزحزح للكتل الصخرية على جانبى هذه السطوح .

وبالنسبة للصخور الرسوبية يوجد نوعـان من الفواصل متعامدة على مستوى التطبق bedding plane ، أما فى الصخور النارية فتوجد ثلاثة أنواع ، النوع الأول ويمتد امـتدادًا أفقيًـا فى موازاة خطوط الانسيـاب وتعرف بالفواصل الأفقـية والنوع الثانى وتمتد فـواصله فى وضع رأسى بالنسبة لخطوط الانسيـاب وتعرف بالفواصل القاطعة، أما النوع الثالث فهو عبارة عن فواصل طولية تمتد فى أعماق الصخر .

أما عن أهم خصائص الفواصل الصخرية الـتى تساعد على دراستها نوجزها فيما يلي :ـ

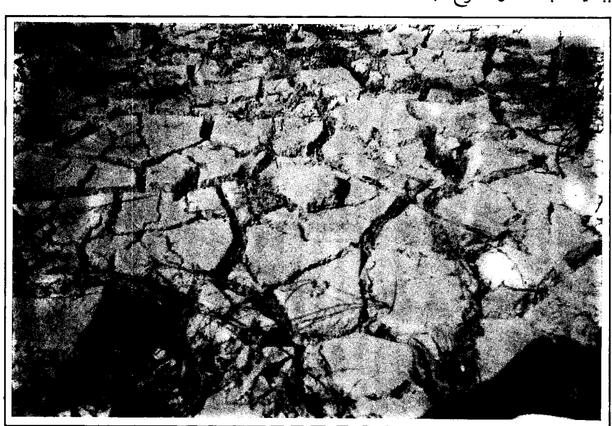
- يمكن تحديد اتجـاهاتها بالنسبـة لخط المضرب كمـا يمكن تحديد اتجاه مـيلها وكثافتها بالصخر .

- ترجع الفواصل فى تكونها إلى عمليات الضغط أو الشد التى تتعرض لها الصخور وكذلك نتيجة لعوامل القص shearing ، وبالنسبة للصخور النارية توجد

شقوق نتـيجة لانكماشهـا عند تجمدها ، وتحدث أنواع من الفواصل المتـقاطعة فى بعض الصخور البركانية التى تؤدى إلى تفصل الصخر فى هيئة أعمدة سداسية .

- تظهر فى الصـخور الطينية فواصل وشـقوق cracks ، نتيـجة لتـماسك الصخر وتصلبه مع التجفـيف وكثيرًا ما تظهر التشققات الطينيـة فى قيعان الخبرات والسبـخات الطينية الجافـة حيث يجف السطح الخارجى للرواسب الطينيـة بدرجة أسرع من الداخل نتيجة لتعرضه لحرارة الشمس التى تُزيد بدورها من طاقة التبخر، وتختلف هذه الشقوق فى أشكالهـا وأحجامها وطولها، وعمومًـا فإن وجدت مثل هذه الشقوق فى الصخور فإنها تدل على تعـرض الرواسب الطينية للهواء بعد فترة من البلل حيث تقترب الحبيبات من بعضها بسبب خاصية الانكماش التى تتميز بها رواسب الطين[١].

توضح الصورة رقم (٤) تشققات سطحية غـير منتظمة فى إحدى السبخات الجافة بواحـة الإحساء قرب جبل « قـارة ». لاحظ منها اتساع الشقوق وامـتلائها ببقايا النباتات والأفرع الجافة .

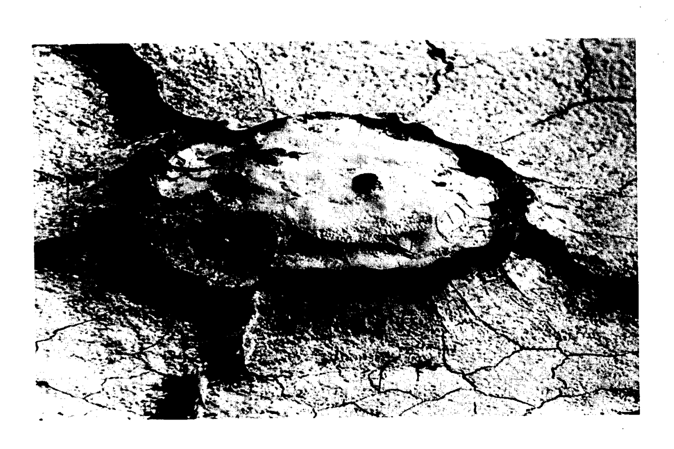


صورة رقم (٤)

تشققات سطحية غير منتظمة فى سطح إحدى السبخات الجافة بالإحساء

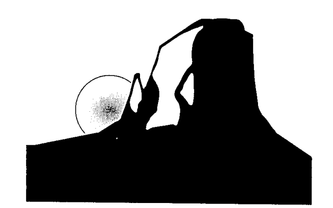
(١) حيث تتـميز التـشققـات بأنها ذات جوانب مـقعرة فى الرواسب الحـديثة والمحدبـة في الرواسب القديمة (للاستزادة راجع كليو، ١٩٩٠ ص ٣٧).

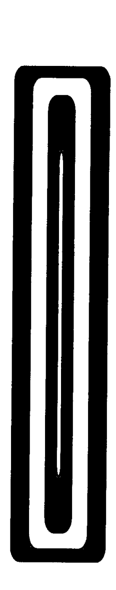
كما توضح الصور رقم (٥) تشـققات طينية ضخمة فى قاع بحـيرة سد أبها وقـد ظهرت هذه التـشقـقـات بعد تفـريغ الخـزان المائى وانكشاف رواسب القـاع وتعرضها للجفاف، ويلاحظ منها ضخامة الشقوق الرئيسية والتى يبلغ عمقها أكثر من متر ونصف مع ظهور تشققات دقيقـة فى الراقة العلوية، يلاحظ كذلك هبوط خفيف فى منتصف الصورة وهذا الهبوط نتـج أساسًا عن عملية تقويض سفلى فى هذ الوضع؛ وذلك لأن ما تحـتها من رواسـب ما زالت مشـبعة بالميـاه إلى جانب امتـلاء قيعـان الشقوق الضـخمة بالميـاه التى تساعد بـدورها فى عمليات الهـبوط الموضحة بالصورة حيث تبدو الشقوق الضخمة وكأنها عملية تخوير نشطة فى هذه الرواسب.



صورة رقم (٥)
تشققات كبيرة الحجم فى رواسب قاع بحيرة سد ابها اثناء الجفاف

الفصل الثالث





التجوية والأشكال الأرضية المرتبطة بها

مقدمة :

التجوية ببساطة عبارة عن عمليات تفكك disintegration أو تحلل decay للصخور فى مواضعها in situ دون تحركها .

ويمكننا تعريفها بشىء من التحليل الدقيق بأنها : تحطم وتغير ينتاب المواد الصخرية قرب سطح الأرض ، وذلك لكى يحدث نوع من التوازن مع الظروف الفيزيائية والكيماوية التى استجدت بالموضع .

وقد تتسبب التجوية فى إحداث نوع من الإزاحة المحدودة للمفتتات المجواة؛ وذلك لأن ما تتعرض له المواد الصخرية من تغييرات فى أحجامها - مثل النمو البلُّورى crystal growth والانبعاج والغسل والانتفاش إلخ - يؤدى إلى حدوث عمليات منفردة لكل مكون صخرى .

ولتبسيط معالجة هذه العمليات ، فقد حدد العديد من المهتمين نوعين رئيسين من التجوية ، النوع الأول وهو التجوية الفيزيائية physical weathering والتى تعنى تفكك الصخر إلى شظايا fragments ومفتتات بطرق ميكانيكية بحتة . والنوع الثانى التجوية الكيماوية chemical weathering ويقصد بها تحلل معادن الصخر decomposetion والأحماض العضوية organic acids .

أما بالنسبة للتجوية الحيوية biotic weathering فإنها تقوم فى الواقع بدور التجوية الفيزيائية مثل تفكك الصخر spliting of rocks من خلال امتداد جذور النباتات (مجاميعها الجذرية) فى التربة ، وتقوم كذلك بنفس الدور الذى تقوم به التجوية الكيماوية مثل تحلل الحجر الجيرى بمخلفات الطيور bird dropping ومن ثم فإن المعالجة ستتضمن دراسة العمليات البيولوجية ضمن النوعين الرئيسين وذلك وفقًا لخصائصها .

والواقع أنه من الصعوبة الفصل بين العمليتين الفيزيائية والكيماوية ، فرغم أنهما لا يعملان فى معظم الأحوال مع بعضهما البعض، إلا أن كل واحدة منهما تعضد الأخرى ، فعندما يتشقق الصخر بفعل التجوية الفيزيائية بمفردها نجد أن تلك الشقوق تعد بمثابة مسالك يسيرة لمياه الأمطار المتخللة للصخور لتقوم بدورها فى التحلل الكيماوى للمعادن الصخرية وخاصة على حدود هذه الشقوق ، ويظهر

ذلك بشكل واضح فى أعالى الجبال حيث تسود التجوية الفيزيائية بفعل الصقيع مع تركيز لنشاطها فى تلك المواضع - أى الشقوق والفجوات - الضعيفة بالصخور ، وفى المقابل تعمل التجوية الكيماوية على توسيع الفراغات البينية void spaces مما يساعد على تغلغل المياه داخلها وقيامها بالعمل الميكانيكى (الفيزيائى) وذلك من خلال تعاقب التجمد والانصهار .

ومن الأمثلة الأخرى على تضافر عمليتى التجوية الميكانيكية والتجوية الكيماوية فى القيام بدور مشترك لتفكك وتحلل الصخور ما يحدث فى عمليتى النمو البلورى للأملاح وتموء بلورات الملح داخل الشقوق الصخرية وما ينتج عن ذلك من تقشر للصخر exfoliation .

العوامل المؤدية للتجوية :-

تتأثر عمليات التجوية بعوامل داخلية endogenetic وعوامل خارجية exogenetic، ترتبط العوامل الداخلية بالبنية (التركيب) والتكوين الصخرى، فالمعادن المكونة للصخر تتحكم فى نمط وفى فعالية التجوية الكيماوية ، مثالنا فى ذلك أن الكالسيت يتأثر بالتكرين والفلسبار feldspar يتغير بفعل التحلل المائى ، كذلك نجد أن للنسيج الصخرى texture أهميته أيضًا، فالصخور المكونة من حبيبات ناعمة fine grained تتجوى بمعدلات أسرع من الصخور خشنة الحبيبات Coarse grained حيث تحتوى الأخيرة على خطوط ومواضع ضعف أقل منها فى الأولى .

أما بالنسبة لأثر بعض الصور التركيبية للصخور على زيادة فعالية عمليات التجوية فإننا نجد أن الفواصل الصخرية Joints وأسطح الطبقية bedding planes إلى جانب الشقوق الدقيقة micro fissures تعد من المواضع الصخرية التى تجد التجوية فيها مسالك للقيام بدورها فى تفكك الصخر وتحلله ، فالصخور التى تقل بها الفواصل - الصخور الكتلية - عادة ما تكون شديدة المقاومة لعمليات التجوية بنوعيها وتظهر فى أغلب الأحوال فى شكل أوجه حرة free faces أو فى شكل أبراج تضاريسية عالية .

أما عن العوامل الخارجية المؤثرة على عمليات التجوية فإنها تتمثل أساسًا فى كل من المناخ بعناصره المختلفة والنبات ، الأول يتحكم فى إمكانية توفير المياه وفى درجة حرارة الصخر والفوارق الحرارية اليومية والسنوية فى أية منطقة، ومن

المعروف أن الماء مطلوب فى أغلب عـمليات التجـوية الفيزيائية والكيـماوية وعلى ذلك نجد أن التجـوية بشكل عام غير ذات أهمية تذكـر فى المناطق الجافة ولا ينتج عنها سـوى مفتتـات قليلة من التربة والمواد الصخـرية ، وعادة ما تتخـير المواضع شـديـدة الضـعف فى الصـخور (Cooke, R.U. and Warren, A, 1973, P30) . أو مواضع الظل التى قـد تتوفر بهـا نسبه من الرطوبة تساعـدها فى القيام بعـملها الفيـزيائى أو الكيمـاوى ، ويقدر بأن معـدل تراجع الأوجه الصخـرية فى المناطق المدارية الجافة يبلغ أقل من نصف ملليمتر كل عشرة آلاف سنة ، بينما يصل معدل تراجعـها فى جبـال الألب السويسرية وفى هضـبة البرازيل مـا بين ملليمتـر واحد ومللميـترين فى السنة (Clark, M, and small, J, p. 15.) وهذا دليل واضح على مدى أهمية توافر المياه لإتمام عمليات التجوية وزيادة فعاليتها .

وتلعب الحرارة المرتفـعة دورها فى عمليـات التجوية ، حـيث يقدر بأنه مع زيادة فى درجة الحرارة قدرها عشر درجات مئـوية تزيد معدلات التفاعل الكيماوى للمـواد الصخـرية بما يتـراوح من مرتين إلـى ثلاث مرات ، وعلى ذلك نجـد أن التـجوية فى المناطق المدارية الرطبـة humid tropical areas تزيد عنهـا فى المناطق المعتدلة temperate- areas بنحو أربع مرات (Thomas, M. F, 1974) .

يضاف إلى توافر عنصر الحرارة فى المناطق المدارية الرطبة المياه الجوفية (تحت الأرضية) والمادة النباتية المتحللة والتى يقدر بأن كمياتها فى الغابات المدارية يتراوح مـا بين ١٠٠ - ٢٠٠ طن فى كل هكتار، بـينما تتـراوح كمـيـاتها فى الغـابات المخروطيـة الباردة ما بين ٢٠- ٢٥ طنا فـقط للهكتار ، ومن المعـروف أن التحلل النباتى عادة مـا يصاحبه خروج أحـماض عضوية تعمل بدورها على زيادة فـعالية أنواع معينة من عمـليات التحلل الكيماوى كما سـيتضح ذلك فيما بعـد ، ونتيجة لذلك نجد أن مـعدلات التجـوية فى المناطق المدارية الرطبة تزيـد عن مثيـلاتها فى المناطق المعـتدلة بنحـو أربعين مرة (Clark, M, and small, J, P 15) وهذا الأمر يفسـر بوضوح تام سبب وجـود المفتتـات الصخرية السـميكة deep regoliths فى المداريات الرطبة .

كذلك نجد أن الفارق الحرارى اليومى والسنوى يعد من الضوابط الهامة لبعض أنواع التجوية الفيزيائية وخاصة فيما يتعلق بعملية التفكك الصخرى الناتج عن الجليد بفعل النمو البلُّورى الجليدى، وكذلك التفكك الناتج عن تعاقب ارتفاع درجة الحرارة وانخفاضها الحاد وخاصة فى المناطق ذات المناخ القارى المتطرف exrteme continental climate مثل هضبة نجد وصحراء مصر الغربية وصحارى ليبيا وغيرها .

ويقوم النبات بدور كبير فى عمليات التجوية الميكانيكية من خلال امتداد جذوره وانتشارها داخل شقوق الصخر مما يؤدى إلى زيادة اتساعها وتفكك الصخر .

أولاً- عمليات التجوية الفيزيائية Physical Weathering :-

تعنى التجوية الفيزيائية كما ذكرنا آنفًا حدوث تفكك للصخور فى مواضعها دون حدوث تغيرات فى خصائصها الكيماوية .

وتتمثل العمليات المرتبطة بالتجوية الفيزيائية (الميكانيكية) فيما يلى :-

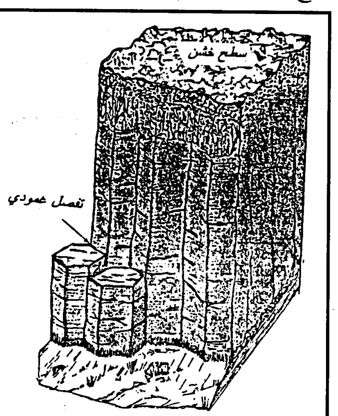
(أ) إزالة الضغط من فوق الصخر Pressure Release :

تعد هذه العملية بعيدة نوعا ما عن عملية التجوية ولكنها رغم ذلك تؤدى إلى تفكك فيزيائى للصخر إلى جانب أنها تزيد من فعالية وتأثير العديد من أشكال التجوية .

من المعروف أن الصخر الذى يتعرض لضغط ما نتيجة لثقل الرواسب والتكوينات التى تعلوه تزداد قوة تماسكه من خلال شدة اقتراب جزيئاته من بعضها البعض مثلما الحال مع صخور الجرانيت والشست والديوريت وغيرها من الصخور التى تتكون عند أعماق بعيدة نسبيًا عن سطح الأرض ، وعلى ذلك فعندما تتم إزالة الرواسب التى تعلوها overlying - deposits بفعل عمليات التعرية الخارجية أو بفعل حركات تكتونية ، فمعنى ذلك ببساطة إزالة ثقل من فوقها عمل فترة زمنية طويلة على ضغطها وزيادة تماسكها وقوتها وينتج عن ذلك انكشافها وتعرضها للتمدد المرن elastic expansion بشكل بطىء .

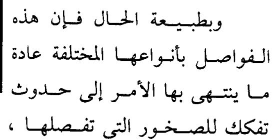
ونظرًا لكون هذه الصخور المتداخلة intrusive مقيدة فى مواضعها confined من جميع الجهـات باستثناء أعاليها ، فإن ما تتـعرض له من تمدد سيكون فى اتجاه رأسى متـعامد على سطح الصـخر مما يؤدى إلى ظهور مـجموعات من الشـقوق والفواصل التى تمتـد فى موازاة السطح، وهذه الفواصل المعروفـة باسم « الفواصل الغطائية sheet joints » يمكن أن نلاحظهـا بوضوح فى الصـخور الجـرانيتيـة التى تتعرض لمثل هذه العمليات سابقة الذكر .

وعندما تتـقاطع هذه الفـواصل مع الفواصل الرأسـية vertical Joints التى تحدث للصـخر بفعل مـيكانيكيات أخـرى ينتج عن ذلك حدوث تفصل عـمودى للصخور cuboidal jointing كما يتـضح من الشكل رقم (٢٤) وصورة رقم (٦)

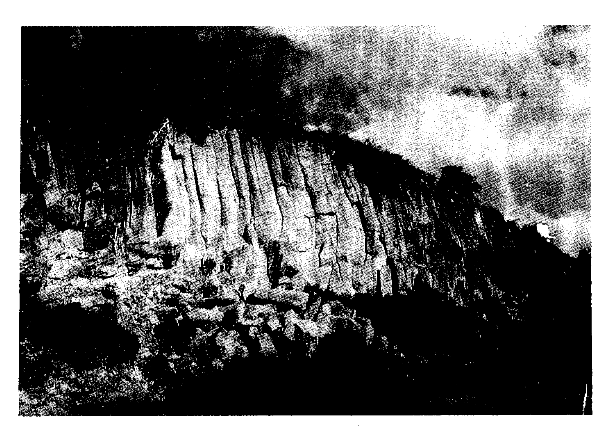


شكل رقم (٢٤)

وجدير بالـذكر أنه كثـيرًا مـا تظهر الفـواصـل الغطائيـة على هـوامش الـجـزر الجـبلية inselbergs التى تختلف فى خـصائصها الصـخرية عمـا يحيط بها من صـخور والتى كانت فى فترة سـابقة مدفونة تحت طبـقـات صـخـرية ثم انكشـفت وخفضت المناطق المحيطة بها بفعل عمليات التعرية الخارجية .



وبطبـيـعة الحـال فـإن هذه الـفواصـل بأنـواعهـا المختلفة عادة مـا ينتـهى بها الأمـر إلى حـدوث تفكك للصـخـور التى تفـصلهـا ، حيث إنها كما ذكرنا تمثل خطوطًا ضعف فى الصخور تتخللها المياه والهواء وأحيانا جذور النباتات لتقـوم جميعا بأدوارها فى التجويـة بنوعيها مما يؤدى إلى انزلاق أو انهيار الكتلة الصخرية المجواة.



صورة رقم (٦)
تفصل عمودى مع بعض الفواصل العرضية على جانب وادى جلى بمحايل عسير مع انقلاب كتل صخرية

ويتراوح عمق الفواصل الغطائية الناتجة عن هذه العملية ما بين خمسة وعشرة أمتار وقد يقل اتساعها joint spacing قرب سطح الأرض إلى بضعة سنتيمترات.

كذلك فإن إزالة الضغط من فوق الصخور المتداخلة قد ينتج عنه تشققات دقيقة وشقوق مجهرية micro fissures فى تلك الصخور المكشوفة تؤدى إلى تقشرها فيما يعرف بعملية التقشر الصخرى exfoliation والتى قد تتسبب كذلك عن تتابع ارتفاع وانخفاض درجة الحرارة فى المناطق القارية المتطرفة كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

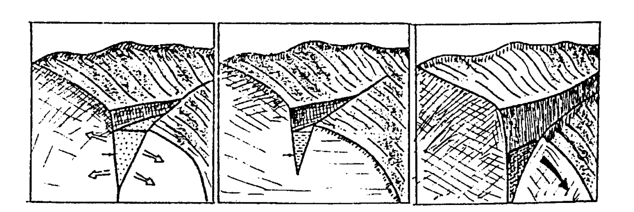
(ب) التجوية بفعل الصقيع Frost - Action (تعاقب التجمد والانصهار) :-

يعد هذا النوع من التجوية أكثر الأنواع الفيزيائية شيوعًا وانتشارًا وخاصة فى

العروض العليا وفى المناطق المرتفعة فى جميع العروض تقريبًا بما فيها الصحارى المدارية والمنطقة الاستوائية[1] .

وتزداد الفعالية أساسًا أثناء فصل التساقط الثلجى snow precipitation وخاصة أن معظم هذه المناطق تقع على مناسيب تتراوح ما بين ٥٠٠ - ١٥٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر .

ومن المعروف أن التجوية بفعل الصقيع تنتج فى الأساس من تخلل المياه للفواصل وأسطح الطبقات متحولة خلالها إلى أسافين جليدية ice wedges أثناء فصل الشتاء، ومن ثم تتعرض للتمدد مع زيادة أحجامها بنسبة ١٠٪ تقريبًا وخاصة عندما لا تكون هذه الأسافين الجليدية مقيدة داخل صخور جاسئة rigid rocks ويؤدى كذلك تعاقب دورات الصقيع frost cycles إلى توسيع الشقوق لينتهى الأمر بتقطع كتل الفواصل الصخرية وتفككها كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٢٥) حيث إن تعاقب التجمد والانصهار يحدث أثره البالغ على تفتت الصخور من خلال تعاظم قوة الضغط على جوانب الفواصل والشقوق[2] .



شكل رقم (٢٥)

(١) لاحظ كل من Cooke and Warren تجمد المياه خلال مائة يوم فى العام وذلك فى صحراء موهافى Mojave بالولايات المتحدة الأمريكية .

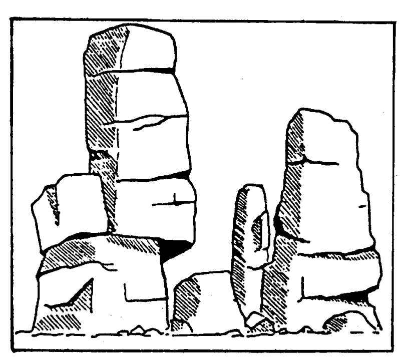
(٢) على الرغم من التأثير البالغ لهذه العملية إلا أن تأثيرها عادة ما يقتصر على الطبقة السطحية من الصخر .

ويتضح أثر الصقيع فى المناطق المعتدلة خلال فصل الشتاء مثلما الحال فى المناطق الجبلية وسط آسيا التى تتميز بتراكم الصخور الناتجة عن التفكك بفعل الصقيع - والتى عادة ما تتميز حباتها بأشكالها غير المنتظمة - فى صورة هشيم screes عند أقدام السفوح المجواة والتى عادة ما تتضح فيها مكاشف الطبقات outcrops .

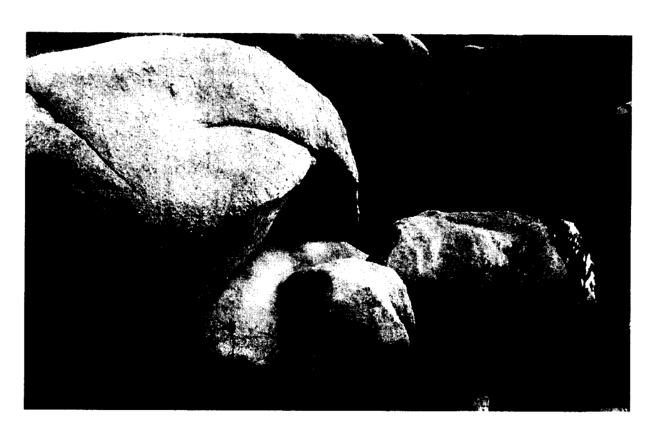
وجدير بالذكر أن التجارب قد أثبتت أن عمليات التجوية بفعل الصقيع لا ينتج عنها جزيئات دقيقة (أقل من ستة ملليمترات) ومن ثم فإنه فى حالة وجود مفتتات غرينية أو طينية فى البيئات الباردة فإنها تكون من نتاج تجوية كيماوية أو قد تكون من نتاج برى abrasion جليدى .

ويرى الكثيرون أن الصقيع (الجليد) وعملية إزالة الضغط من فوق الصخور المتداخلة بجانب عمليات تجوية أخرى يعد مسئولاً عن تراجع الأوجه الحرة للسفوح بالعروض العليا وتكوين الهشيم الزاوى angular scree عند أقدامها .

يتضح من الشكل التالى رقم (٢٦) تكسر الصخور إلى كتل مستطيلة الشكل بفعل الصقيع والتغير الحرارى الذى ينتج عنه تتابع التمدد والانكماش فيما يعرف بالتفكك الكتلى block disntegration راجع أيضًا الصورة رقم (٧) .



شكل رقم (٢٦)



صورة رقم (٧)
التفكك الكتلى للصخور بمرتفعات عسير

ويعد راب (Rapp, 1960)رائدًا فى دراسة أثر الصقيع فى تفكك الصخور حيث قام بقياسات حقلية لعمليـات التساقط الصخرى من الأوجه الحرة فى سفوح الجبـال المكونة من صخور الميكاشـست والحجر الجيـرى فى منطقتى karkevagge وlapplan بمرتفعات السويد وذلك أثناء الفـترة من ١٩٥٢ إلى ١٩٦٠ وقد فرق فى دراسته بين سـقوط الحصى pebbles fall وسقوط الجـلاميد boulders fall ،وقد استنتج من خلال قياساته الحقلية أن معدل التساقط السنوى من الصخور يصل إلى خمسين متـرًا مكعبًا، منها خمـسة أمتار مكعبـة من الحصى وخمسـة وأربعين مترًا مكعبًا من الجلاميد مقدرًا بذلك معدل التراجع السنوى للحوائط الصخرية بـ ٦٠, من الملليمتر (Clark, Mand Small, J, P.19) ، وقد أثبتت كذلك دراسات كل من Harris, and Honeyborne وآخرين أن بنيـة مسـام الصخر لهـا دور كبـير فى التحكم فى درجة مقاومة الصخـر للعمليات المرتبطة بالتجوية الجليدية ، ومع ذلك فقد أكـدا صعوبة قياس هذا الأثر فى مـعزل عن عدد من المتغيـرات الأخرى مثل كثافة أسطح الضعف - من شقوق وفواصل - ومعامل التشبع وغير ذلك .

(جـ) التجوية الملحية Salt Weathering :-

عرفت التجوية الملحية منذ فترة زمنية طويلة ، فقد أشار كل من (Blanck, E ank Passarge, 1923) إلى دور تبلور الأملاح فى تفكك الصخور بالصحارى المصرية .

ورغم بعض الجوانب الكيماوية لهذه العملية إلا أن دورها فى تفكك الصخر دور فيزيائى ميكانيكى فى المقام الأول .

ومن الشائع أن التجوية الملحية تتسبب عن تبلور محاليل زائدة التشبع بالأملاح supersaturated تمتلئ بها شقوق ومسامات الصخور ، وحيثما تنمو البلُّورات فإنها تحدث إجهادات expanse strsses على حدود الفواصل الصخرية وعلى حبيبات الصخر مما يؤدى إلى تفكك حبيبى (زاوى) لها granular- disinte- gration هذا النوع من التجوية قد يحدث بانتظام على السفوح أو قد يتمركز فى مواضع ضعف محددة مثل حفر التجوية weathering pits أو التكهفات الصخرية وخاصة فى المناطق الصحراوية الحارة حيث التساقط المحدود والحرارة المرتفعة يساعدان على تكون بلُّورات الملح وخاصة عند أقدام السفح .

وفى المناطق شبه الجافة semi- arid- areas يعد الغبار الملحى من العوامل الأكثر أهمية فى عمليات التجوية حيث يستقر فى الشقوق الصخرية ويعمل على اتساعها إلى جانب ما يسببه من تكون انبعاجات swells فى السطوح الصخرية عقب سقوط المطر ويظهر ذلك بوضوح على السواحل المدارية حيث تزيد طاقة التبخر ويتبلور الملح الموجود فى رذاذ البحر داخل الشقوق الدقيقة بالصخر (Pitty, A.F, 1973, P186) .

وفى المناطق المدارية الأكثر رطوبة توجد عملية غسيل للملح نحو طبقة ما تحت التربة subsoil ومن ثم فإن عملية التبلور الملحى وما ينتج عنها من تجوية للصخر ذات أهمية محدودة فى مثل هذه المناطق ، وإن كانت مع ذلك تظهر حفر

مستديرة ملساء الجوانب تصل أقطار فتحات بعضــها إلى عدة كيلو مترات تتميز بها عادة مناطق الظل عنـد أقدام سفوح الجـزر الجبلية وخـاصة عندما تكثـر الفواصل الأفقـية بهذه السـفوح مع غـيرها من خطوط الضعف الناتجـة عن عمليـات تجوية أخرى .

ويوجد شكل آخـر من أشكال التجـوية الملحية أشـار إليه كل من (Cooke and - Warren) يتمثل فى تمدد الأملاح بالحرارة داخل مسـامات الصخر وخاصة مع ارتفاع درجات الحرارة خلال ساعات النهار فى الصحارى المدارية مما يؤدى إلى ترسب بلُّورات الملح فى التشققات crevices قرب سطح الأرض .

وقـد تم قيـاس هذه العمليـة فى المعمـل ووجد أن البلُّورات الملحـية تتـأثر بالفارق الحـرارى اليومى durnal range حيث يؤدى إلـى تغير فى أحـجامـها إلى درجة يمكن أن تسـبب فى تفتت الصخـر ، وقد لاحظن كذلك حدوث إجـهادات بسبب تموء البلُّورات تعمل بدورها على زيادة فعالية التجوية الملحية فى التأثير على الصخور وتفتيتها .

والنقطة الهـامة هنا تتمـثل فى كون معـاملات التمـدد بفعل التـموء لمعظم الأملاح الشائعه عادة ما تكون أعلى منها فى مـعظم الصخور ، فعلى سبيل المثال نجد أن نترات الصويوم N_a NO3 وكلوريد الصوردیوم N_a C1 وكلوريد البوتاسيوم KC تزداد أحـجام بلُّوراتـها بنسب تزيد ثـلاث مرات عن الجـرانيت[١] . ولذلك كانت قوى التموء الملـحى ذات أهمية كبرى فى عملية التجـوية الملحية وخاصة أن الإجهـادات الناتجة عنه يمكن أن تتكرر أكـثر من مرة فى الفـصل الواحد وربما فى اليوم الواحد .

توضيحـًا لما سبق ، عندما ترتفع درجة حرارة السطح خلال سـاعات النهار فإن مـحاليل الملح التى صعـدت نحو السطح بفـعل الخاصة الشـعرية capilarity

(١) نجد على سبيل المثال أن حجم كربونات الكالسيوم C_aS_{o4} يزيد بنسبة تصل إلى ٥ , ٠٪ مما ينتج بالتالى ضغوطًا وإجهادات على جوانب الشقوق.

تتعرض ما بها من مياه للتبخـر عند السطح أو بالقرب منه مرسبه ما بها من أملاح وباستمرار هذه العـملية تنمو البلُورات الملحية مسـببة إجهادات كبـيرة على الحبات التى تلامـسها مما يؤدى إلى تـفكك الصخر ، وأثـناء ذلك فإن بلُورات الملح غـير المتموئة أو قليلة التموء تمتص بخـار الماء من الجو ، يساعد على ذلك وفرة الرطوبة النسبية relative humidity والارتفاع النسبى فى درجة الحرارة .

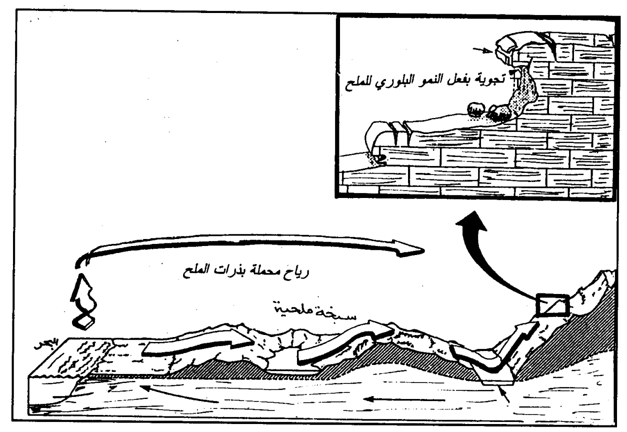
وعـمـومـًا ، فـإن العـمليـات السـابقـة تعـد مـثـالاً صـادقـًا للتـجـويـة الفـزيـوكـيمـاوية physiochemical weathering يرتبط بهـا العـديد من الأشكال المورفولوجـية مثل حفر الـتجوية وحفر الـتافونى Tafoni التى تميز المناطق الرطبة المدارية (Clark, M and Small, Q, P21) .

دورة التـجـويـة المـلـحـيـة Salt Weathering Cycle :-

يعد تراكم الأملاح فـوق أية منطقة منخفضة مـرحلة أولية لما يمكن أن نطلق عليه دورة التملح أو دورة التـجوية الملحية . حيث تقوم الرياح فى مـرحلة لاحقة بتـذرية غبـار الملح salt ash من القـشرة السطحـية لتـعـيد توزيعـه على الأسطح الصخـرية العارية والتى تحـتوى بدورها ضـمن مكوناتها على نسب مـحدودة من الأملاح ، وعـادة ما ينتج عن إعـادة توزيع الأملاح بـفعل الرياح حـدوث تجوية ملحيـة فوق مسـاحات واسعـة مما يؤدى إلى حدوث تفكك للصـخور وانزلاق أو سقوط الكتل والمفتتات الصخرية فى مرحلة تالية .

ويوضح الشكل رقم (٢٧) العمليات السـابقة حيث تظهر فيه سبـخة ملحية جافـة تراكمت فوق سطحـها قشور ملحـية salt crusts وتهب عليهـا رياح تقوم بتذرية كميات كبيرة من المسحـوق أو الغبار الملحى باتجاه إحدى الحافات التى يظهر عليها مدى التأثر بالتـجوية الملحية وخاصة الطبقة السطحيـة منها وكذلك الشقوق المواجهة للرياح .

والحقيقة أن التجوية الملحية تؤثر تأثيرًا ضارًا على المناطق الجافة التى تتعرض لها وخـاصة تلك المناطق المنخـفضة التى يقـترب فيـها مسـتوى الماء الأرضى من السطح وكـذلك السواحل المدارية الجـافة مثل سـواحل البحـر الأحمـر وسواحل الخليج العربى وخاصة السواحل الغربية منه .



شكل رقم (٢٧)

وتتمثل أهم الآثار الضارة للتجوية الملحية بالمناطق الجافة فيما يلى :-

- تعرض أساسات المبانى والمنشآت المختلفة لعمليات التجوية الملحية وخاصة عندما تمتد الأساسات فى الطبقة السطحية للأرض مقتربة من المياه تحت الأرضية التى تحتوى على نسبة عالية من الأملاح الذائبة حيث تستقر تلك الأملاح بعد تبخر المياه فى مسامات مواد البناء وتقوم بعمليات التجوية مما يهدد المنشآت بالانهيار.

- كثيراً ما تتعرض الطرق فى المناطق الجافة لأخطار التجوية الملحية من خلال تشققها أو هبوطها وخاصة عندما تمتد قرب المناطق السبخية المنخفضة كما يظهر ذلك من الصورة التالية رقم (٨) ، وتحدث مثل هذه التجوية بسبب زيادة معدلات التبخر مع ارتفاع درجة الحرارة التى تعمل على تبخر المياه الصاعدة من أسفل بفعل الخاصة الشعرية لتتبقى الأملاح متراكمة داخل الشقوق والمفاصل الموجودة فى طبقة البيتومين أسود اللون، ومع تمدد البلُّورات الملحية وتموءها تحدث ضغوط وإجهادات شديدة على شقوق مادة البيتومين فيما يشبه تمامًا دورها فى الحافات الصخرية مما يؤدى بالتالى إلى توسيع الشقوق وحدوث هبوط بالطريق (للاستزادة ارجع إلى المؤلف ١٩٩٦) .



صورة رقم (٨)
تشقق الطرق بفعل التجوية الملحية

(د) التجوية الحرارية (الإشعاعية) Insolation Weathering :-

من المعروف أن الصخور تتكسر عندما تتعرض لتغيرات يومية حادة فى درجات الحرارة ، ولذلك تعد الصحارى المدارية من أكثر المناطق ملاءمة لمثل هذا النوع من التجوية الفيزيائية حيث درجات الحرارة خلال ساعات النهار تصل إلى أكثر من ٤٠ درجة، بينما قد تنخفض درجات الحرارة الليلية إلى الصفر المئوى أو ما دونه أحيانا .

والحقيقة أن السطوح الصخرية تتعرض بشكل فعلى لتذبذبات حرارية أكبر بكثير مما أشير إليه آنفًا ؛ وذلك لأنها عندما تتعرض بشكل مباشر لأشعة الشمس ترتفع حرارتها إلى أكثر من ٦٥ درجة م. وعادة ما تكون الصخور أكثر تأثرًا بالتجوية الحرارية؛ وذلك لأن انخفاض الألبيدو الحرارى لها يؤدى إلى حدوث أقصى امتصاص للحرارة بها ، كذلك نجد أن الصخور التى تتكون من مجموعة من المعادن المختلفة (خاصة الصخور النارية والمتحولة) أكثر تأثرًا بهذا النوع من التجوية؛ وذلك لأن لكل معدن من هذه المعادن التى تدخل فى تركيبها معامل تمدد

خاص بهــا وقابلية خاصــة لتوصيل الحرارة وذلك من شــأنه أن يؤدى إلى حدوث تغيرات فى درجــات حرارة الصخر وإلى وجــود ضغوط وإجهادات مــتباينة وذات اتجاهات مــختلفة فى المكون الصخــرى وينتج عن ذلك مع الوقت ظهور تشقــقات غير منتظمــة فى اتجاهاتها مما يساعد على تكسر الــصخور وتفتيتهــا بمعدلات أسرع بكثير من الصخور متجانسة التكوين مثل الحجر الجيرى أو الحجر الرملى .

وعادة ما تحدث هذه التغيرات فى الطبقــات الخارجية (السطحية) للصخور المواجهــة للتغيرات الحــرارية الجوية ليمــتد التأثير بعــد ذلك ببطء إلى داخل الكتلة الصخــرية وخاصة إذا مــا تذكرنا أن الصخــور بشكل عام ليــست جيدة التــوصيل للحرارة[1] ، ولذلك فإن الطبــقة المتأثرة بالتــجوية الحرارية بشكل مبــاشر لا يزيد سمكها على سنتيمترات قليلة ويعد وجــود المفتتات الخشنة حادة الزوايا بوفرة دليلاً واضحًا على نشاط التفتت الفــزيائى والتورق وغيرها من ملامح وأشكال هذا النوع من التجوية (صورة رقم ٩) .

ويوضح الشكل رقم (٢٨) مثالاً لأثر التجــوية الحرارية على جلمود صخرى مع الأخذ فى الاعــتبار عند مــتابعتــه أن هناك أكثر مــن عملية تجــوية شاركت فى تطوره بالصورة التى تظهر فى الشكل والتى نختصرها فيما يلى :-

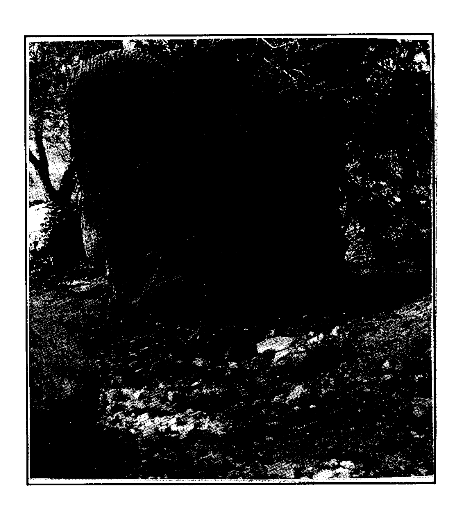
أ- تمثل جلمود صــخرى به تقشر نتج عــن تتابع التمدد والانكمــاش بسبب التغيرات الحرارية temperature variations ، يلاحظ المفتتات المتراكمة على جانبيه مع زيادة كمياتها مع استمرار تجويته .

ب - يبين قطاع فى نفس الجلمود (أ) يتضح منه سمك الجزء الذى تعرض للتشقق بفعل التجوية الحرارية .

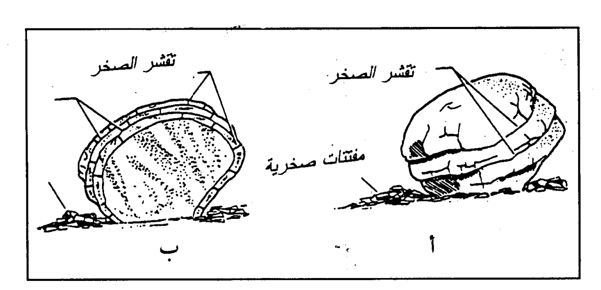
جـ - يوضح مظهر القبــاب التى تعرضت للتقشر وهى بمثــابة قلب الصخرة التى لم يصل إليه أثر التغيــرات الحرارية ، مع تراكم التكوينات المفككة الناتجة عن التجوية عند سفوحها الدنيا وهى مفتتات حادة الزوايا تعرف بالبريشيا .

---

(١) لذلك لا يمكننا أن نتصور أن التقشر exfloiation الذى يتعرض له سمك كبيــر من الصخور يعد نتاجا لمثل هذا النوع من التجوية ، كــذلك فإن ما يصيبها من تفــصل تشارك فيه أكثر من عمــلية من عمليات التجوية بنوعيها الفزيائى والكيماوى .



صورة رقم (٩)
مفتتات صخرية وأثر التورق على كتلة صخرية بفعل عمليات التجوية



شكل رقم (٢٨)

وجدير بالذكر أن التـجارب المعملية لم تحسم بعد مدى فـعالية هذ النوع من التجوية ويسـود رأى فى الوقت الحاضر مفاده أن تتابع التـمدد والانكماش الحرارى يسبب تفتتًا محدودًا للصخور، مع كونه فى نفس الوقت يلعب دورًا هامًا فى تقوية وزيادة فعالية عـمليات التجوية الأخرى ومنها التجوية الملحـية، ويتمثل هذا الدور من خلال أثرها فى زيادة درجة نفـاذية الصخر permeabilty والتى تعمل بدورها على تسهيل دخول مياه المطر لمسافات داخل كتل الصخر والقيام بالتحلل الكيماوى الذى يعمل بدوره على توسـيع الشقوق (Cooke, T and Doornkamp. J, 1974 , P291) والتى تكون قد نتجت نتيجة لإزالة الضغط من فوق هذه الصخور.

ثانيًا ـ التجوية الكيماوية Chemical Weathering :-

تتضمن التجوية الكيماوية تنوعًا كبيرًا من التفاعلات reactions بعضها بسيط والبـعض الآخر غـاية فى التعـقيـد ، هذه التفـاعلات تعـمل على تغيـر التكوين الكيماوى chemical composition لمعادن الصخـور من خلال تغير معـادن معينة أكثر اسـتعدادًا من غيرها للتـغير والتفاعل مما يؤدى فى النهـاية إلي تفكك الصخر disaggrigation إلى بلُّورات منفصلة أو إلى مجـموعات بلُّورية clusters of crystals ومن ثم فإنها - أى التجـوية الكيماوية - تركز على الصخور كـثيرة الفواصل والطبقـية والشقوق والتى تسـمح جميعـها بتخلل الماء والهواء داخل الصـخور مما يؤدى إلى تشظى الصخـر إلى كتل كبيرة الحـجم ، وهكذا نرى أن التفكك الكتلى غالبًـا ما يرجع فى نشـأته إلى عمليات التـجوية الكيـماوية وخاصـة فى العروض المدارية الرطبة حيـث إنه عادة ما تزداد فعاليـة التجوية الكيمـاوية مع ارتفاع درجة الحرارة ووفرة الرطوبة .

أما عن الدور الذى تقـوم به المياه تحت الأرضـية under ground water فى عملية الإذابـة فإنه يتوقف على كمـية الأملاح المذابة فيه ويظهـر ذلك بوضوح فى الصخور دائمة التشبع بالمياه .

وهناك اعـتقاد شـائع بأن مسـتوى الماء تحت الأرضى يمـثل حدًا فاصـلاً بين نطاقين أحدهما أعلاه تسـود خلاله عمليات التجوية الكيـماوية والنطاق الواقع تحته يختفى فيه دور التجـوية ، والحقيقة أن هذا الاعتقاد فيه تبسـيط مبالغ فيه حيث إن

بعض المعادن مثل الفلسبار تتأثر بالتجوية تحت مستوى الماء الأرضى وعادة ما تكون معدلات التجوية الكيماوية أكثر فعالية وسرعة فى حالة تعاقب البلل والجفاف وذلك فى النطاق الذى يتذبذب فيه مستوى الماء الأرضى، ولذلك نرى تركز التجوية الكيماوية عند أقدام السفوح شديدة الانحدار بسبب ما تتعرض له من بلل يأتى إليها عن صرف المياه المتدفقة على السفح إلى جانب أن هذا الجزء من السفح يتعرض لتذبذب مستوى الماء الأرضى، كذلك يظهر أثر تعاقب البلل والجفاف فى حدوث ما يعرف بالتجوية المائية water layer weathering على السواحل ، والمقصود بالتجوية المائية حدوث تجوية للصخور الشاطئية بسبب تعاقب البلل wetting فى حالة المد المرتفع والجفاف أو التجفيف drying أثناء انحسار مياه البحر، ويلاحظ تأثر الأجزاء السفلى من الجروف الشاطئية بعملية التجوية المائية مما يعرضها للتقويض والانهيار .

وعمومًا، فإن الجزء الأكبر من التجوية المائية عبارة عن تجوية كيماوية وذلك لحدوث تفاعل بين معادن الصخور ومياه البحر التى تصل إلى الشاطئ بشكل «دوري» ويمتد نطاق التجوية من الحد الأعلى لرذاذ الأمواج حتى المنطقة دائمة التشبع ، وينتج عن هذه التجوية تنقير للصخر pitting وتحززات مختلفة الأحجام تمتد على سطح رصيف النحت البحرى وأقدام الجروف ، وتلعب الخصائص الليثولوجية أدوارها فى تباين هذه الملامح المورفولوجية كما يتضح ذلك بالتفصيل فى التعرية الساحلية بالفصل الثامن من هذا الكتاب .

وعادة ما تكون التجوية المائية على السواحل الرطبة غير مؤثرة وخاصة مع انخفاض طاقة التبخر وسيادة نمط المد نصف اليومى semidurnal tide بينما تصبح التجوية الكيماوية نشطة وفعالة للغاية فى السواحل التى يسودها المد والجزر اليومى durnal tide والمختلط (راجع بالتفصيل للمؤلف ،١٩٩١) .

وتوضح التفاعلات التالية الصور المختلفة للتجوية الكيماوية :-

(١) الإذابة Solution :-

تعد الإذابة عملية تجوية ذات أهمية كبيرة تؤثر على المعادن غير القابلة للتغير أو التحول بالإضافة إلى تأثيرها فى مرحلة لاحقة على نتاج التجوية من مفتتات

صـخرية وثقـوب التجـوية والتـحززات . . . . إلخ . كـما أنهـا تؤدى إلى زيادة الفراغات بين جزيئات الصخر أو توسيعها مع إذابة المواد القابلة للإذابة تاركة المواد غير القابلة للذوبان فى شكل مخلفـات تجوية ، فالحجر الرملى المتلاحم بكربونات الكالسيوم (الرملى الجيرى) عندما يتعـرض لعملية الإذابة المائية يتحول من حجر رملى صلب متماسك إلـى حجـر هش مكـون من حبيـبات رملية غير متماسكة ، كذلك نجد أن الحجـر الجيرى الذى يتعرض للإذابة قـد يتخلف عنه عدد من الكتل الصوانية التى تكونت « كـدرنات » صخرية concretions داخل التكوينات الجيرية فى مرحلـة التكويـن، كذلك قد تبقى صخور من الشيرت chert وهى أيضًا كثيـرًا ما تتكون فى الحجر الجـيرى نتيجة زيادة نسبة السيلكيـا فى فجوات داخل صخور الحجر الجيرى ، وعلى ذلك فهى تظهر دائمًا مـصاحبة لهذه الصخور إما فى شكل طبقات رقـيقة أو على شكل عقد قد تتـخلف بعد تعرضها للإذابة المائيـة وتعرضه لغيرها من عمليات التجوية الأخرى .

والواقع أن فعالية عملية الإذابة تتـحدد من خلال حموضة acidity أو قلوية المياه تحـت الأرضية ، فـعندما ترتفع قلويـة المياه (PH > ٩) نجد أن بعض أنواع السيليكـا والألومينا Al_2O_3 تصـبح فى هذه الحالة قـابلة للذوبان فى تلك الميـاه القلوية، وإذا ما كـانت المياه متـعادلة neutral تصبح الألومـينا غير قـابلة للذوبان ولكن عندمـا تصل الحمـوضة إلى أكـثر من (Ph ٤) فإنهـا فى هذه الحالة تذاب بسهولة فى المياه .

(٢) التكربن Carbonation :-

تتضمن هذه العـملية اتحاد حمض الكربونيك مع بعـض الكربونات وخاصة أكسيـد وكربـونـات الكلسيوم والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم فتتكون الكربونات أو البيكربونات .

ومن عمليـات التكربن الأكثر وضوحًا وتـأثيرًا ما يتمثل فـى تحول كربونات الكلسيـوم إلـى بيكربونات ($Ca\ Co_3$ to $Ca\ (HCO_3)$ بفـعـل مـيـاه الأمطـار الساقطـة التى تحتوى على ثانى أكسيد الكربون وتحولها بذلك إلى حمض كربونيك مخفف H_2CO_3 .

ويتم مـا سـبق من خلال اتحـاد حـمض الكربونيك المخـفف مع كـربونات الكلسيوم المـوجودة فى الصخور الجيـرية لتتحول بذلك إلى بيكربونـات الكلسيوم القابلة للذوبان فى الماء وتأخذ الشكل الآتى :-

$$Ca\,CO_3 \quad + \quad H_2\,CO_3 \longrightarrow Ca\,(HCO_3).$$

بيكربونات الكلسيوم　　　حمض كربونيك　　　كربونات كلسيوم

وحيث أن بيكربونات الكلسيوم قابلة للذوبان فى الماء فمعنى ذلك أنه عندما تسقط الأمطار على صـخور جيرية فـإنها تؤدى إلى تحويلهـا إلى بيكربونات قابلة للذوبان والتحـلل والارتشاح، ومن ثم نجد أن الصـخور الجيـرية تعد أكـثر أنواع الصخـور التى تنشط بها هذه العمليـة والتى تظهر آثارها فى أشكال مورفولـوجية مميزة كما سيتضح ذلك آخر هذا الفصل .

ويمكن إلى جانب مـا سبق أن تتـخلل المياه المحملة بثـانى أكسـيد الكربون الشقوق التى عادة مـا تكثر فى صخور الحجر الجـيرى مما يؤدى إلى تكون فجوات وكهوف وغير ذلك من ملامح وأشكال أرضية تتميز بها مناطق التعرية الكارستية .

وجدير بالذكر أن عملية التكربن قد تتم فى أشكال أخرى، على سبيل المثال يحدث تكربن عند تفـاعل حمض الكبريتـيك مع هيدروكسيـد البوتاسيوم منتـجًا كربونات بوتاسيوم قابلة للذوبان فى الماء .

وكثـيرًا ما يظهـر أثر عملية التكربـن فى بعض السواحل وخاصـة السواحل الجيـرية وفى ذلك نرى أن Hodgkin 1984 يقـدر معـدلات الإذابة بالتكربن فى الصخور الجيـرية السـاحلية بما يتـراوح بين نصـف الملليمتر إلى الملليـمتر الـواحد فى السنة ، ومن المعروف أن مـاء البحر مشبع بـدرجة كبيرة بكربونات الـكلسيوم وعادة ما تـزداد درجة التشبع فى الميـاه المدارية الدافئة ، وقد وجـد كل من ريفيل وإمرى Emery عام ١٩٥٧ أن عملية الإذابة فى المداريات ترتبط بحدوث زيادة ليلية (خلال الليل) لثانـى أكسيد الكربون بالماء نتيـجة انخفاض درجـة الحرارة ليلاً مع توقف النباتات البـحرية عن القيام بعـملية التمثـيل الضوئى photosynthesis أثناء ساعات الظلام ، وقد أشار كذلك إلى أن المسطحات المرجانية المتسعة والممتدة تحت

مستـوى الجزر low tide تدل على حدوث إذابة للصـخور الجيـرية فى منطقة المد والجـزر، أمـا الأجزاء الأعلى من هذا المنسوب فـإن ما بها من مظاهر الإذابة يرجع أساسًا إلى رذاذ الأمواج (wave spray) (للاستزادة راجع للمؤلف ، ١٩٩١) .

(٣) التموء Hydration :-

ينتج التمـوء عن قدرة بعض المعادن على الاتحاد مع الماء وتكويـن ما يعرف بالمعادن المائية ، وفى هذه العملية يحـدث تغير فى حجم المعادن ممايؤدى إلى تولد إجهادات فيزيائية physical stresses تؤدى إلى تفكك ميكانيكى للصخور ، ومن الأمثلة الواضـحة على حدوث عملية التـموء ما يتمـثل فى تحول معدن كـبريتات الكلسيوم calcium sulphate (الأنهيدريت anhydrite) إلى كبـريتات كلسـيوم متموء (الجبس) كما يظهر ذلك من العلاقة التالية :

$$Ca\,SO_4 \quad + \quad 2H_2\,O \longrightarrow Ca\,SO_4 + \; 2H_2\,O$$

انهيدريت   ماء   جبس

وتفسر العملية السابقة وفرة تكوينات الجبس فى مكاشف الصخور التى تتأثر بالغلافين الغازى والمائى ، أما تكوينات الأنهيدريت فمـعظمها يوجد فى التتابعات تحت السطحية .

وفى حالة السيليكات ومعادن الأكاسيد نجدها تتحول نتيجة عملية التموء إلى سيليكات أو أكاسـيد مائية ، وفى حالة السـيليكات عادة ما نجد أن عمليـة التموء يصاحبها تحلل مائى .

ومن أمثلة التمـوء ما يتم من تحول أكاسـيد الحديد إلى هيدروكسـيد الحديد iron hydroxide، وما يعنينا من كل ما سبق أن نعرف أن المعـادن المتموئة عادة ما تكون أقل مقاومة لعمليات التعرية من المعادن الأصلية غير المتموئة .

(٤) التحلل المائى Hydrolysis :-

على عكس عـملية التمـوء يتم فى عمليـة التحلل المائى تفـاعل بين المعادن المكونة للصخر والماء[1] ،وهى عمليـة هامة جدًا كـبداية لتحلل الفلسـبار المكون الرئيسى لصـخور الجـرانيت إلى حمض سيليـكات الألومنيوم aluminosilic acid وهيدروكسيد البوتاسيوم والأخير قابل للإذابة بالتكربن فى المحلول المائى أما الأول فهو غير ثابت كـيماويا حيث يتحول إلى معادن صلصـالية وحمض سيليكى وهو أيضًا قابل للإذابة فى الماء ، والواقع أن عملية التحلل المائى للفلسبار تعد من أشهر الأمثلة على أثر الـتحلل المائى فى تكوين المعادن النـارية حيث يتم خلالهـا تحويل الفلسبارات الـبوتاسية (مثل الأرثوكليـز) إلى كاولينيت kaolinite والأخير أحد المعادن الطينية (حسن وزملاؤه ، ص ٢١٢) وإن كان التحول هذا قد يتم بالحرارة أيضا .

وبشكل عـام فإن عـملية التـحلل المائى عـادة ما تمهـد لعمليـات التجـوية الكيماوية الأخرى ، كما أن التـحلل المائى قد يؤدى فى بعض الأحيان إلى انتفاخ الصخـور المتأثرة به مـثلما الحـال فى عمليـة الكولنة kaoliniqation حيث ينـتفخ الصخر ؛ وذلك لأن حجم الكاولينيت أكبر من حـجم الفلسبار البوتاسى ويساعد هذا على تشقق وتقشر الصخور المتأثرة بهذه العملية .

(٥) التأكسد Oxidation :-

التأكسد عـبارة عن عملية اتحاد للأكسجين مع العناصـر أو المركبات وتتوقف عملية التأكسد على نسبة الرطوبة فى الجو ، حيث تزداد فعاليتها فى المناطق الحارة الرطبة ، وغالبًا ما يحدث التأكسد بفـعل اتحاد الأكسجين الموجود فى الجو - نسبته ٢١٪ - أو المذاب فى المياه ويمكننا الاستدلال على تأكسد معادن الصخور من اللون الأحمـر الذى تكتسبه مـثل تربة اللاتيريت latirite وتكوينات البوكسيت bauxite تتمـيز الأولى بارتفاع نسـبة أكسـيد الحديد بهـا والثانية ذات لون أصـفر أو أبيض لانخفاض نسبة أكاسيد الحديد بها وارتفـاع نسبة أكاسيد الألومنيوم حيث إنها المادة الخام لمعدن الألومنيوم .

---

(١) يؤدى التحلل المائى إلى تفكـك التركيب البلُّورى للمعـدن ، أما التموء فـهو عبارة عن إضـافة جزئ أو عدة جـزيئات من الماء إلى التركيب البلُّورى للمعـدن ويمكن أن تؤثر هذه الإضافة على التركيب البلُّورى للمعدن .

ونظرًا لكون الصخور النارية والمتحولة وبعض الصخور الرسوبية تحتوى على عنصر الحديد فإن عمليـة التحلل المائى التى تتبعها عملية الـتأكسد تؤدى فى معظم الأحيـان إلى تكوين أكاسيد الحـديديك (حسن وزملاؤه ، ص٢١٣) ومن أشـهر الأمثلة على التأكسد تحلل معدن البيريت وهو من المعادن الشائعة فى كثير من أنواع الصخور ، ويتم التأكسد حسب المعادلة الآتية :-

$$FeS_2 + 2O_2 \longrightarrow Fe\,SO_4 + S$$

كبريت　　كبريتات الحديدوز　　　　أكسوجين　　بيريت

وكبريتات الحديدوز الناتجه سـهلة الذوبان فى الماء وتتحول عادة بشكل سريع إلى مواد أخرى، أما الكبريت فإنه يتأكسد بسرعة متحولاً لحمض كبريتيك والأخير يتـفاعل مع معادن الألومينـا والكـربـونـات لتكون الكبريتات والأخيرة قابلة للإذابة مما يساعد على تحلل الصخور .

وهكذا فإن المعادن المؤكـسدة عادة ما تكون أضعف وأقل مقـاومة من المعادن الأصلية مما يجعل هذه العملية ذات أهمية كبيرة فى التجوية وتفتت الصخور.

(٦) التجوية الحيوية Biotic Weathering :-

تمثل الأحياء الحيوانية والنباتية عناصر أساسية فى العديد من جوانب التجوية الكيماوية وذلك لكونها تلعب أدوارًا رئيسية فى تحديد كمية المواد القابلة للإذابة من خلال عملية التـحلل العضوى chelation والأخيرة عـملية شديدة التعقيـد تتضمن تكوين أحماض عضـوية من النباتات المتعفنة، وهذه الأحمـاض ذات أثر كبير على إمكانية إذابة بعض العناصر المعـدنية مثل الحديد الذى يمكن للنبات أن يسـتمده من التربة كـمادة غذائيـة، كما يمكن إزالته أكـثر من خلال عـملية غسـيل التربة soil leaching حيث يتحول الحـديد إلى أيونات معقدة conplexed ions يمكنها الانتقال إلى أسفل مع المـياه المتخللة للصـخور ، كـذلك قد يتدفق إلى الأنهـار التى تقطع الأراضى المستنقعيـة المنخفضة حيث تصل نسبتـها (أيونات الحديد) إلى ١٥ جزء فى المليون .

ويرى Allison أن كل زيادة فى درجة الحرارة قدرها عشـر درجات يصاحبها تقريبًا مضاعفة للتفاعلات الكيماوية ، وعلى ذلك يحدث فى العروض الدنيا زيادة فى معدلات التجوية الحيوية .

ويعد دور الأحماض العضوية فى التجوية الكيماوية ذا أهمية كبيرة فالاشنات lichens تولد مركبات عضوية ذات تأثير كـبير على تجوية الأسطح الصخرية حيث تظهر فى شكل حفـر تجوية وتحززات على الصخور التى تنمو فـوقها هذه النباتات الصخرية lithophytes وبعض النباتات الأخرى مثل الحزازيات mosses وغيرها .

أما عن الدور الميكانيكى للأحياء النباتية والحيوانية فهو دور كبير أيضا لا يقل أهمية عن الدور الكيماوى وتفكك الصخر وتفتيته .

يتمـثل دور النبات فى التـجوية الفـزيائية (الميكانيكيـة) من خلال امـتداد جذوره داخل الكتل الصـخرية عبـر الشقوق والفـواصل مما يؤدى إلى توسيعـها، وسواء كانت هذه الجـذور وتدية أم إشعاعية فـإنها تؤثر كثيـرًا فى تفكك الصخور وتعريضها للانزلاق وخاصة فوق الحافات الجبلية المرتفعة[١] .

لاحظ صورة رقم (١٠) التى توضح أثـر جذور النبات فى تفكك الصـخور على جانب أحد الأودية الجافة جنوب غرب السعودية .

وتلعب الديدان الدقيقة دورها فى تفكك التربة وتقـليبها وأكثر أنواع الديدان تأثيرًا دودة الأرض earth,s worm التى تقـوم بتحلل المـواد العضـوية والمواد غيـر العضوية inorganic matters، كذلك تقـوم بعمل ميكانيكى آخر هام يتـمثل فى حفر ممرات دقيقة أثناء تحركها فى التربة مما يسمح للهواء بالمرور خلالها وهذا الأمر من شأنه عـمل تدفئة طبيـعية للتـربة فى العروض العليا، ويقـدر بأن عدد الديدان الأرضية فى الغابات المخروطية بروسيا ٢,٩ مليون دودة فى الهكتار الواحد وتصل فى تربة البرارى إلي ٨٨٠ ألـف دودة لكل هكتار. وقد أكـد Darwin أن الديدان الأرضية التى تعيش فى هكـتار واحد تبتلع وتخرج من أمعائهـا ما يصل إلى أكثر من عشرة أطنان من التربة فى العام لواحد .

(١) قد تتوغل الجذور الرئيسية لمسافة ثلاثة أمتار أو أكثر داخل التربة ، بينما تمتد الجذور الثانوية إلى أبعد من ذلك بكثيـر ، والواقع أن هذه الجذور عندما تنمو داخل الصخور تولد قـوة كبيرة تكفى أحيانا لفلق الصخر .



صورة رقم (١٠)
اثر جذور النبات فى تفكك الصخور

يوجـد كذلك نـوع من النمل يعـرف بالنمل الأبيض Termites يعـيش فى وسط قارة إفريقيا فى السهوب الطينية وحول القنوات النهرية ، يقوم هذ النوع من الحشرات بتقليب التربة وتحريك مفتتاتها وبناء أعمدة طينية تعرف باسم Termitaria وتظهر هذه الأشكال الجيـومورفولوجية الملفتة فى مناطق مـن زمبابوى وزائير وفى أجزاء أخرى من دول شرق إفريقيا .

وهناك حيـوانات حفارة عديدة تعـمل على تفتيت الصخـور من خلال بناء جحورها أو البـحث عن الغذاء، من هذه الحيونات الأرانب البـرية التى تعيش فى وسط أستراليـا والتى تعمل على تفتيت التـربة الرملية وحفر الجحـور بحيث تظهر آثـارهـا فى وجـود أعداد كـبيـرة من الحفـر والـكهوف (أبو العـينين، ١٩٧٩ . ص٣٠٤) ومن الحيوانات الأخرى السنجـاب الأرضى وعلى السواحل المدارية نجد أنواع عـديدة من الأحيـاء الحفـارة تلعب أدوارها فى تفتـيت الصخـور وتدميـرها وخاصة تلك السواحل الغنية بالتكوينات الجيرية .

وتعد الطحالب الخضراء المائلة إلى الزرقة blue green algae من أكثر الأحياء البحرية أهمية فى حفر التجـويفات الساحلية وكذلك الشقوق التى لا يمكن أن تنتج عن عمليات إذابة .

ويرى (Davies, J,, 1980) أن الكثير من الكائنات الحيوانيـة تستمد غذاءها من الصخر نفسه ، كذلك يرى Debrat أن العامل البيولوجى يعد من أهم العوامل المؤثرة فى عمليـة الذوبان بالسواحل المدارية، ويتـمثل العمل البـيولوجى عنده فى التأثيـر المباشر للكائـنات النباتية والحـيوانية التى تعـيش فى المنطقة السـاحلية التى يتعـاقب عليها الجـفاف والبلل من خـلال عمليتى المد والجـزر (البارودى ١٩٨٧ ، ص٣٧) .

الأشكال الأرضية المرتبطة بالتجوية :-

يوجـد العـديد من الأشكال الأرضـية التـى ترجع إلى عمـليات التـجـوية المختلـفة، وتكمن صعـوبة تحديدها فى الـتداخل مع عمـليات التشكـيل الأخرى وخاصة أشكال التعرية الكارستية والانـهيارات الأرضية ، إلى جانب أن الكثير من تلك الأشكال المرتبطة بالتجوية من الصغر بحيث يصـعب تصنيفها كأشكال أرضية وذلك رغم أهميتها فى المعـالجة الجيومورفولوجية مثل التـشققات الطينية والأنابيب التحتـية الدقيقة التى تشكلـها دودة الأرض داخل التربة والحفر الناتجـة عن الأحياء القارضة وغيرها الكثير .

وتتمثل أهم الأشكال الأرضية التى ترتبط بعمليات التجوية فيما يلى :-

(أ) حفر التجوية Weathering Notches وقنوات الفواصل والشقوق :

تظهر كثير من هذه الملامح فى الصخور البارزة فى وضح رأسى، كما أنها قد تظهر فـوق الأسطح الأفقيـة مثل تلك الحفـر الموجودة فى وادى فيكتـوريا بالقارة القطبية كما أنها قد تظهر فوق الركامات الجليدية .

كما أنه كثيراً ما تظهـر نقر أو حفر التجوية فى المناطق المدارية ودون المدارية وخاصة فوق الأسطح المستوية flat surfaces على مناسيب مرتفعة مثل قمم الجزر الجبلية ومنحدراتها وخاصة المكونة من صخور نارية حمضية ، كذلك قد توجد فى مكاشف الطبقات الصخرية مـثل تلك الحفر أو الفجوات notch التى تميز مكاشف طبقات الهيماتيت فى منطقـة ميناس جراس بالبرازيل والتى تصل أقطارها إلى نحو المتر بأعمـاق تتراوح ما بين ١٠- ٢٠ سنتيـمتر ، وقد تصل أبعـاد تلك الحفر فى الجزر الجبلية الضخمة جنوب أستراليا إلى أكثر من عشرة أمتار بعمق يصل إلى المتر وتظهـر مـثل تلك الملامح فى الـعروض الوسـطى فـوق الأسطح العليـا للأبراج الصخرية المنعزلة وكذلك فوق الكتل الصخرية وعلى أرصفة النحت البحرية .

كما توجد حـفر التجوية فى صخور الحجـر الرملى والشست بالإضافة إلى الجرانيت وأسطح الطفوح اللافية (الحرات) ، وقد سجل المؤلف العديد من حفر التجـوية فى الصخور النارية والمتحـولة بمنطقة عسيـر وقام بعمل بعض القـياسات لأبعادها وهى فى معظمها حفر صغيرة متجاورة غير منتظمة يصل متوسط أقطارها ٢٠ سنتيمتر مع أعماق محدودة (بضعـة سنتيمترات) كما يظهر ذلك من الصورة التاليـة رقم (١١) التى توضح جـزءًا من جانب وادى الرازان شمـال بلدة هروب تظهر فوقه مجـموعة من حفر التجوية المستوية الملسـاء مع بعض التكهفات الناتجة عن عمليات الإذابة لاحظ كذلك حدوث تقويض سفلى undercutting بسبب مياه السيول التى تـتدفق فى وادى الرزان ، كما يظهر مـن الصورة رقم (١٢) عدد من الكهوف والفواصل الصخرية فى إحدى الحافات الجبلية بمرتفعات عسير ، أما الحفر التى تظهر فى الحجر الجيرى بمناطق التعرية الكارستية فتعد فى معظمها نتاج عملية تجوية كيماوية نشطة حيث تبدو أكثر عمقًا واتساعًا بالمقارنة بحفر التجوية ، بمناطق الصخـور النارية إلى جـانب تعدد أشكالهـا ويتضح من الشكل التـالى رقم (٢٩) بعض أشكال التجوية فوق سطح من الصخـور الجيرية يخلو تمامًا من أى نمو نباتى يمكن أن نستنتج منه ما يلى :

١- أثر الانحدار الهين فى تكوين قنوات إذابة solutions channels .

٢- تكون قنوات صغـيرة فوق سطح أفـقى جيرى مع قمـة مركزية كمـثال لنظام قنوات ذات نظام تصريف مركزى centripetal channelling .

٣- تأثيـر نظام الفواصل فى تحـديـد مـواضع الإذابة حيـث تبـرز حافـات مرتفعة تعرف فى بريطانيا باسم clints تفصلها قنوات ضـيقة وعميقة نسـبيًا يطلق عليها grikes .

٤- سيادة عمليات التجـوية بفعل الإذابة فوق سطح منحدر تظهر به قنوات تعرف فى الألمانية باسم karren .



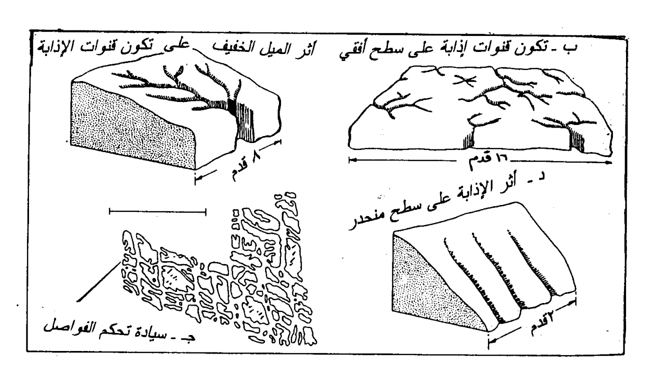
صورة رقم (١١)
حفر تجوية قرب بلدة هروب فى حيزان

ويوضح الشكل رقم (٣٠) قـبو صخـرى فى بيئة مـدارية تعرض لعـمليات تجوية شديدة أدت إلى إزالة جزء كبير من مكوناته الصخرية .



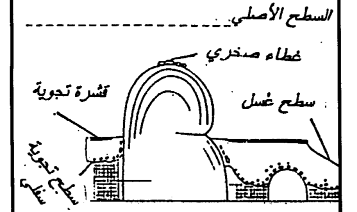
صورة رقم (١٢)

كهف وتفكك صخرى فى حافة نارية قرب اخدود نجران



شكل رقم (٢٩)

ب - الحطام الصخرى Regolith :-



شكل رقم (٣٠)

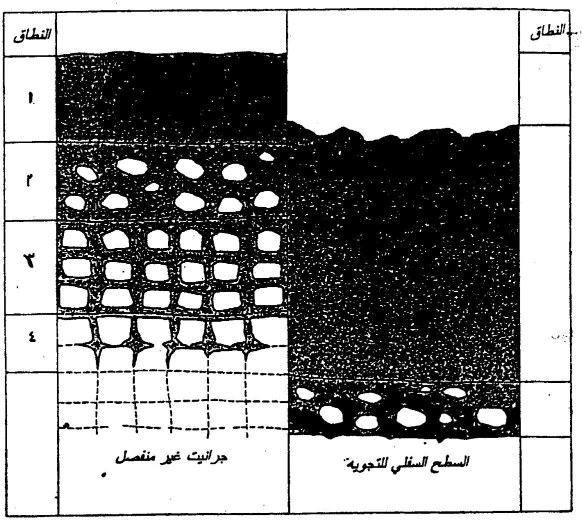
ينتج عن عـمليتى التـجوية الميكانيكيـة والكيمـاوية كمـا رأينا تفكك الصخور وتهشيمها وتحويلها فى النهاية إلى حطام صخرى عادة مـا يتـراكم عند أقـدام السـفـوح المجـــواه أو على طول امــتــداد السفح، ويصعب كـثيرًا إرجاع أى حطام إلى نوع مـعين من التجـوية ويرجـع ذلك إلى أن هـناك عـــدة عوامل تؤثر على الصــخور فى نفس الوقت ، وإن كانت التجـوية الميكانيكية تنتج حطامًا صخريًا ثم تتـوقف بسبب تراكم المفتتات التى تمثل غطاءً حامـيًا لما تحته من صخور وعدم نقلـها بشكل مستمر، بينمـا التجوية الكيماوية يمكن أن تستـمر فترة طويلة بحـيث تنتج حطامًا صـخريًا سـميكًا deep regolith ، والواقع أن العـملية الأخيـرة لا تتم فى أية منطقة بنفس المعـدل ، فعندما تـكون التضاريس واضـحة والسفـوح منحدرة وعمليات النقل نـشطة ، فى هذه الحالة نجد أن معـدل التحلل الكيمـاوى يكون معتـدلاً بسبب سيـادة نوع من التوازن النسبى بين ناتج التـجوية ومعـدل الإزالة ، وهذ الوضع يسود فى مـعظم المنحدرات الجبـلية فى أوروبا فى الوقت الحاضر (Pitty , A, 1972) بينما نجد فى المناطق المدارية ودون المدارية أن التجوية الكيماوية تعطى مفتتـات تفوق معدلات نقلها ، ومـن ثم نجد أن المفتتـات الصخرية سميكة (يصل سمكها أحيانا إلى ستين مترًا) .

ويقدر كل من (Buxton and Berry, 1961) أن متوسط سمـك المفتتات الصخرية فى المداريات الرطبة يبلغ ٣٠ متـرًا وفى السافانا الرطبة ٢٥ مترًا يقل إلى ستـة أمتار فى السافـانا الأقل رطوبة ، بينما يقل إلى ثلاثة أمتـار فقط فى المناطق الجافة .

وعادة ما تـتطور التراكمات من المفـتتات الصخـرية بشكل واضح عند أقدام السـفـوح الأقل انحدارًا حـيث تكون عـمليـات إزالة الرواسب (المواد المجـواة)

بواسطة عملية الغسيل leaching غير مؤثرة ، ونظرًا لبقاء هـذه المفتتات الصخرية فى مواضـعها فتـرة طويلة نسبيًـا فقد سـاعد ذلك على استمـرار عملية التـجوية الكيماوية وذلك لكونها - أى المفتتات - خليـط من الرمل والطـين عـالى النفاذيـة مما يسـاعد على تخلل مياه المطر الحمضية فى مساماتها والوصول إلى صخر الأديم (الأساس) bedrock .

وفى دراسة لكل من Ruxton وبيرى Berry للمفـتتات الصخرية بـالسفوح الجرانيتية بجزيرة هونج كونج وجدا أن تلك المفـتتات تنقسم إلى أربعة نطاقات كما وضحاها فى الشكل التالى (٣١) وهذه النطاقات وفقا لقياساتهما هى :-



شكل رقم (٣١)

١ - النطاق (أ) :-

وهو النطاق العلوى الذى يتكون من مـفتتـات متبقـية residual debris من صخور رمـلية كوارتزية مخـتلطة بالصلصال مع احتوائهـا على كتل صخريـة غير مجواة unweathered ويتراوح سمك هذا النطاق ما بين ١- ٢٥ متر .

٢- النطاق (ب) :-

يحتوى على مفتتات متبقية مع نويات من الكتل الحجرية المستديرة تمثل أكثر من ٥٠٪ من سمك الرواسب .

٣- يتكون النطاق (جـ) :-

من كتل حجرية مستطيلة تفككت من صخور الأساس التى تتميز بتفصلها الواضح ويتراوح سمك هذا النطاق ما بين ٧ و ١٧ مترًا .

٤- آخر طبقة (د) :-

إلى أسفل وتتكون من الجرانيت المجوى تجوية جزئية بسبب تخلل المياه إليها فى المراحل الأولى عبر الفتحات والفواصل ومع مرور الزمن فإن النطاقات العلوية تزداد سمكًا على حساب النطاق السفلى (د) الذى تتوقف تجويته عند الحد الذى تختفى عنده الفواصل الصخرية [شكل رقم (٣١)].

جـ - حقول الجلاميد Boulder Fields :-

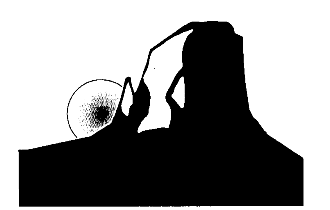
عبارة عن مسطحات واسعة تنتشر فوقها جلاميد مستديرة الشكل ترجع فى نشأتها إلى تعرض الصخور الجيرية التى تحوى داخلها (عقد « أو درنات » concretions)[1] صخرية لعمليات إذابة كيماوية بفعل مياه المطر أو المياه تحت الأرضية مما يؤدى إلى ذوبانها بمعدل أسرع من ذوبان العقد الصخرية والتى قد لا تستجيب لعمليات الإذابة لتبقى على السطح فى شكل جلاميد مستديرة تقريبًا وذات أحجام مختلفة فى مظهر مورفولوجى مميز .

ويوجد مثل هذا المظهر على مساحات واسعة فى الهضبة الجيرية فيما بين وادى النيل والوادى الجديد (طريق إسنا الواحات الخارجة) والجلاميد هنا من حجر الصوان ويطلق عليها الأهالى هناك « وادى البطيخ » .

---

(١) عادة ما تكون هذه الدرنات أو العقد الصخرية من صخور متخلفة عن الصخور الجيرية وأكثر منها مقاومة لعمليات التجوية وهى فى معظم الأحوال مكونة من « الصوان » الأكثر صلابة من الحجر الجيرى ، وفى العادة تتكون من أحجام مختلفة يطلق عليها ظاهرة البطيخ المسخوط .

الفصل الرابع





السفــــوح
العمليات المرتبطة بها - أشكالها
وزوايا انحدارها

مقدمة

تمثل السفوح المستوية نسبة محدودة للغاية من سطح الأرض الذى يتكون فى معظمه من سفوح ذات انحدارات متباينة ، مع الأخذ فى الاعتبار أن السفوح ككل تتميز بمجموعة من الخصائص التى تحدد إمكانية وطبيعة العمليات الجيومورفولوجية المرتبطة بها وتحدد بها كذلك طبيعة الاستخدامات البشرية المختلفة من زراعة وعمران وطرق إلخ .

والسفوح بشكل عام سواء كانت طبيعية natural slopes أو بشرية من صنع الإنسان man made slope تتميز بعدم الاستقرار ، حيث إنها دائما ما تكون عرضة للتغيير التدريجى أو التغير السريع ، والكثير منها يتعرض لعمليات انهيار أرضى mass wasting بدرجات مختلفة وبشكل متكرر مما قد يؤدى إلى حدوث خسائر وأضرار بالطرق والمنشآت وكثيراً ما تنتج عنه خسائر فى الأرواح وخاصة قرب مناطق العمران، لذلك فإنه يجب التفهم الكامل للميكانيكيات التى تتسبب فى عدم استقرار تلك السفوح إلى جانب تفهم الخصائص الجيومورفوهندسية للأشكال والعمليات المرتبطة بها .

وسيبدأ هذا الفصل بدراسة حركة المواد على السفوح ثم بدراسة أشكال السفوح المختلفة وزوايا انحداراتها مع إيجاز لمضمون نموذجين من نماذج أشكال السفوح وذلك بهدف تفهم التطور الذى تمر به السفوح خلال تاريخها الجيومورفولوجى .

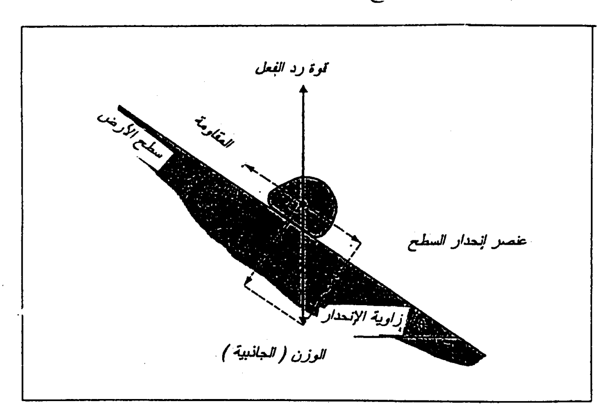
عمليات النقل على السفح :-

القوى المؤثرة على حركة المواد فوق السفح :

كما ذكرنا فى الفصل الثالث من هذا الكتاب فإن عمليات التجوية بنوعيها تؤدى إلى توفير مفتتات صخرية بأحجام مختلفة فوق السفح والتى بدورها تكون جاهزة للانتقال .

وسواء كانت هذه المفتتات متحركة بالنـقل أم ثابتة (مستقرة) فى مواضعها فوق السـفح فإنها فى كلتـا الحالتين تعتـمد على التوازن النسـبى بين القوى المؤدية للحركة والمقاومة resistence (قوة رد الفعل) التى تتجه لمنع حـركتها باتجاه أقدام السفح .

ويمكننا تفهم مـا سبق من الشكل رقم (٣٢) الذى يوضح كـيفيـة تأثر كتلة صخرية مـرتكزة فوق سفح بقوى مـعينة تتمثل فى قـوة الجاذبية gravetation التى تعمل فى اتجاه رأسى إلى أسفل متناسبة مع وزن الكتلة ، ومن ثم فلكى تثبت هذه الكتلة الصخرية وتستـقر فى موضعها فلابد من حـدوث توازن تام بين قوة الجاذبية وقوة رد الفعل باتجاه أعلى السفح upward - reaction force (المقاومة).



شكل رقم (٣٢)

ويمكن القول بشكل أوضح بأن جزءًا من هذه القوى يعمل فى موازاة سطح السفح ، ومن ثم فإن معـامل التحرك نحو أقدامه بفـعل الجاذبية يساوى الوزن X ظل زاوية الانحدار وهكذا فـإنه لكى تستقـر الكتلة فوق السفح يجب أن تتـساوى قوة الحـركة (التـحرك) إلى أسـفل مع المقاومـة (قوة رد الفـعل) باتجاه أعـالى

السفح، إلى جـانب ما سـبق توجد قوى أخـرى تؤثر على تلك الكتلة الصـخرية وذلك من خلال وسائل النقل على طول السفح مثل الميـاه المتدفقة وتصادم قطرات المطر والرياح والجليد المتـحرك وقوة الدفع الناتجة عن اصطدام الجزيئـات الصخرية بعضـها ببعض وذلك عنـد تحركهـا باتجاه أقدام السـفح . كذلك قد تؤدى حـركة السيارت والاهتزازات الأرضية وغيرها إلى تحركها فوق السفوح .

معنى مـا سبق أنه لكى تسـتقر الجـزيئات الصخـرية فوق السـفح فلابد أن تتساوى المقاومـة (قوة رد الفعل reaction force) مع كل القوى المؤدية إلى تحرك الجزيئات باتجاه أقدام السفح ، ولذلك نجد أن السفوح عادة ما تتميز بعدم الاستقرار instability نتيجة لتـعدد الظروف التى تساعد على تحرك المواد فوقـها والتى تتمثل فى تتابع التمدد والانكماش الناجم عن التجوية بفعل الصقيع حيث ينتج عن تجمد المياه فى مسامات التربة وداخل شقوقها تعرض الأخيـرة للانتفاخ (الانتفاش) بمعدل سنوى يصل إلى خمسة سنتيمترات وقد يصل فى بعض المناطق إلى أربعين سنتيمتر ،وهذا بدوره يؤدى إلى حركة للمفتتات تجاه أقدام السفح .

كذلك نجد أن عملية التمدد والانكماش الحرارى فى العروض المدارية الحارة ذات المدى الحرارى الواسع تشـبه فى نتـائجها العـملية السابقـة التى تتعـرض لها السفوح فى العروض العلـيا ، كذلك يؤدى ضغط الماء water pressure الناتج عن التشبع الدورى periodical saturation للمسامات الصـخرية وتتابع البلل wetting والتجـفيف drying فى التـربة الصلصاليـة إلى تعرض السـفوح إلى الانهـيارات والانزلاقات الصخرية .

وجدير بالذكـر أن هناك عاملين رئيـسيين يعطيان المواد المفكـكة على السفح القدرة على مقاومة الحركة يتمثلان فيما يلى :ـ

- الاحتكاك Friction :-

عندما تتـحرك كتـلة على سـفح ما فـإن خشونـة سـطحهما roughness مع بعضهما البـعض تؤدى إلى حدوث مقاومة للحركة يطلق عليـها الاحتكاك فإذا ما كانت الكتلة الصـخرية المنزلقة مكعبـة الشكل أو فى صورة لوح منزلق يطلق على الاحتكاك هنا احتكاك انزلاقى أو احتكاك منزلق sliding friction وهو النوع السائد

على السـفوح بسبب عـدم انتـظام أشكال الكتل المنزلقة فى معظم الأحوال، أما إذا ما كانت الكتلة المنهارة متدحرجة على سطح السـفح بسبب استدارتها فيحدث نوع من الاحتكاك يمنعها من التدحـرج بسهولة وذلك بسبب وجود انحناءات بين سطح السفح والكتلة المسـتديرة الشكل تقريبًا ، هذا النوع من الاحـتكاك أقل انتشارًا من الأول وأقل تأثيرًا كعـامل مقاومة يطلق عليه اسم احـتكاك التدحرج rolling friction والذى عادة ما تتعرض له بعض الرواسب الخشنة المستديرة على قاع النهر عند انتقـالها مع التيـار المائى أو مع الأسطح الصلبة التى تهب فوقـها رياح قوية كـما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

- التماسك Cohesion :-

يعطى التمـاسك قوة إضافـية للمواد الصـخرية ، فكلما زاد تماسكهـا كلما احتاج تحركها قوة أكبر تؤدى إلـى انفصال المكونات الصخرية أولاً ثم تحريكها بعد ذلك باتجاه أقدام السفح؛ ولذلك كثيرًا ما تتعرض السفوح لانزلاقات أرضية عندما تفقد المواد الصخرية تماسكها وخاصة عندما تكون السفوح شديدة الانحدار .

مثـال على ذلك أنه عندما ينصـهر الجليـد فى التربة أثناء فـصل الصيف ، يعقب ذلك تدفق طينى أو انزلاقات لكتل صخرية منفردة على سطح زلق .

وإذا كان المهندسون يهتمون عادة بحركة النقل فوق السفوح باعتبارها مشكلة هندسية وذلك منذ فترات زمنية طويلة نجد أن الجيومورفولوجيين لم يدركوا أهميتها إلا منذ عهد قـريب ، حيث تركز اهتمامـهم على مورفولوجيـة السفح الناتجة عن حركة نقل الرواسب وكذلـك على معدلات التغير فى الشكل ليـستنتجوا من ذلك معلوماتهم عن الميكانيكيات التى أوجدتها[١] .

---

(١) أى أن الجيومورفولوجيين ركزوا اهتماماتهم على الظاهرة أو الشكل ودراسة أبعادها وخصائصها وتطورها بدرجة أكبر بكثير من اهتمامـهم بالعمليات التى أنتجت مثل هذه الخصائص مكتفين بما يستنتجونه من معلومات خاصة بها .

وفيما يلى دراسة مختصرة عن عمليات نقل المواد على السفوح :

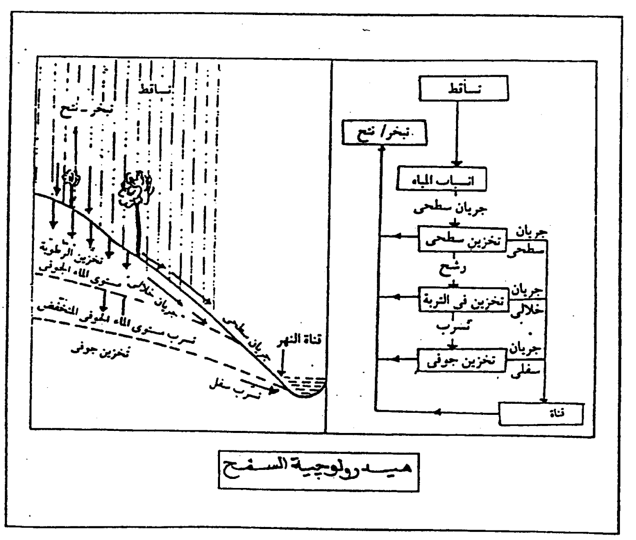
أ- غسل السفح Slope Washing والعمليات المرتبطة به:-

يشتمل غسل السفح على كل أنواع النقل التى تتم بفعل المياه عليه باستثناء تلك العملية المرتبطة بوجود المياه داخل الجداول gullies والتى تتم بها مرحلة تعميق جدولية كبداية لنشأة شبكة تصريف نهرية والتى سندرسها تفصيلا فى الفصل الخاص بالتعرية النهرية .

وتعتمد عملية غسل السفح على درجة انحداره وعلى قابلية المواد السطحية للنحت erodibility وكذلك على كثافة الغطاء النباتى وأحجام النباتات (شجرية أم حشائش) ومحتوى السفح من الماء ، فعندما يسقط المطر على سفح ما فإن جزءاً من هذا الماء يعود إلى الغلاف الغازى مرة أخرى بواسطة التبخر والنتح ، وجزءاً آخر تتشربه التربة بحيث يتحول إلى جريان تحت سطحى subsuface- flow.مع العلم بأن طاقة التشرب infiltration capacity تتحكم فى تشرب التربة للماء وعادة ما تقاس بالمليمتر فى الساعة،وتصل فى المتوسط إلى ما بين ١٠٠-١٥٠ ملليمتر فى الساعة وأحيانا ما تتجاوز ذلك إلى نحو ٢٠٠٠ ملليمتر،ويرجع ذلك إلى زيادة حجم حبيبات التربة السطحية واتساع مساماتها ، ومع وجود غطاء نباتى يعمل على تقليل درجة انحدار السفح فإن ذلك يعطى المياه المتساقطة فرصة زمنية أطول لكى تتشرب داخل التربة ، وعادة ما تصل طاقة التشرب حدها الأقصى عندما تكون التربة جافة قبيل سقوط المطر .

أما عن أهم العوامل التى تقلل من طاقة التشرب فتتمثل فى دقة الحبيبات واختفاء الغطاء النباتى وشدة انحدار السفح ، وعندما تمتلئ كل مسامات التربة والمفتتات السطحية بالمياه فإن التربة بهذا تكون قد تشبعت تمامًا بالماء ووصل التشرب إلى الصفر ، ومن ثم يظهر نوع من الجريان السطحى للماء يعرف بجريان التشبع فوق السطح saturated overland flow ، حيث ينتج تشبع كامل للتربة السطحية مع ارتفاع نطاق التشبع عقب سقوط أمطار غزيرة ، وقد يحدث فى هذه الحالة أيضا نوع آخر من الجريان وذلك عندما يضطر جزء من المياه التى تسربت

داخل التربة إلى التحرك أفقيا بسـبب وجود طبقة غير منفذة impermeable layer تمنع تسربه سـفليا فينتـج عن ذلك تدفق مائى باتجاه أقـدام السفح وذلك فيـما بين السطح ومـسـتوى الماء الجـوفى underground water يعـرف بالجريان الخـلالى (الداخلى) interfow كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٣٣) .



شكل رقم (٣٣)

أما بالنسبة للجريان السطحى surface flow ، فعادة مـا يحدث عندما يزيد التسـاقط على طاقـة التـشرب،حينئـذ يتجـه الماء الفـائض للجـريـان فوق السطح، فإذا مـا سـقط على سـبيـل المثـال ٧٥ ملليمتر من المطر على سـفح ما خلال ساعة ما وكانت طاقة التـشرب ٥٠ ملليمتر فى الساعة فيكون فـائض الماء ٢٥ ملليمتر ، يتجه بدوره للجريان السطحى فوق السفح .

ب- أثر تصادم مياه المطر بسطح السفح على حركة المواد Rain Fall- Impact :-

يتم خلال هذه العمليـة حركة للجزيئات الصخـرية على سطح السفح باتجاه أقدامـه ، حيث تقفز حـبيبات التـربة السطحية إلى أعلى - أثناء سـقوط المطر - بارتفعات تصل إلى نحـو ٥٠ سم فوق منسوب سطح السفح وذلك نتيـجة للطاقة الزائدة التى تكمن فى المطر الساقط .

فإذا مـا كان السطح أفقـيا يكون النقل فوقـه صفراً ، أما إذا كـان الانحدار خفيفًا (أقل من عشر درجات فتكون حـركة مواد التربة باتجاه انحدار السفح (نحو أقدامه) قدر حركتها تجاه القمة ثلاث مرات، ويرجع ذلك إلى كون الجزيئات التى تتحرك بعد اصطدامـها بسطح السفح نحو أقدامه ، ترحل مـسافة أطول فى الهواء بالمقارنة بتلك الجزيئات الـتى تحل محلها بالحركة نحو القمـة ، وهذه العملية تبدو مؤثرة بشكل كـبير فى المناطق الجافـة وشبه الجافة ويرجع ذلك إلـى سقوط أمطار فجائية غـزيرة ومركزة فوق سفوح عارية من النبات تقـريبًا والذى إن وجد فيكون فى صورة مبعثرة فوق مساحات واسعة[1] .

- الانهيارات الأرضية Masswasting :-

تعد كلمة masswasting مصطلحا عاما يطلق على كل العمليات التى تعمل على نقل مواد السفح تساعدها فى ذلك مجـموعة القوى التى أشرنا إليها فى أول هذا الفصل ، والانهيارات الأرضية بطبيعـة الحال تختلف عن عمليات التعرية التى تتميز بشكل عام بوجود عامل أو وسيط النقل .

وجدير بالذكر أن حركة المواد على السفـوح تظهر تباينات واضحة من حيث الحجم والسرعة ونوع المكونات الصخرية والأشكال الأرضية الناتجة عن حدوثها.

وقبل التعرض لتصنيف كل من (Finlayson and Statham 1980) لحركات المواد على السفـوح يجدر بنا أن نذكر هنا أنه نظراً لأثر التـجوية بأنواعها المخـتلفة على السفـوح فقـد قسمت السـفوح ذاتها إلـى نوعين تبعًا للعـلاقة مع عـمليات التجوية :

---

(١) حيث يعمل النبات إذا ما وجد بشكل كثيف على حماية التربة من تصادم قطرات المطر .

النـوع الأول : السفـوح ذات النقل المحدود slopes[1] transport limited وهى السفـوح التى تتـميـز بمعدل نـقـل للرواسب أقل من معدل تجـويـة صخوره ،فعادة ما تتمـيز هذه السفوح بغطائها السـميك من التربة التى يزدهر فوقهـا النمو النباتى وتظهر مثل هذه السـفوح بكثرة فى العروض المعتدلة الرطبـة وكذلك فى العروض المدارية المطيرة .

النوع الثـانى : يتمثل فى السـفـوح ذات النقـل السريع rapid mass movement وفيـها يفوق معـدل حركة الرواسب معـدل التجوية السـائدة وعادة ما تتمـيز هذه السفوح بتكويناتها المفتتة المتبـاينة فى أحجامها غير المصنفة unsorted debris والتى قد تتكون من حصى ورمال وطين ، وتتميز كذلك بشدة انحدارها وتقطعها بقنوات عميقة .

وفـيمـا يلى دراسـة تفصـيلية للأنـواع الثـلاثـة الـرئيـسيـة مـن عـمليـات السفوح slope processes وفقًا لتقسيم العالمين سابقى الذكر .

١ - السقوط الصخرى Rock Fall :-

تحدث هذه العـملية من عمليات الانـهيار السريعـة فوق السفوح الصـخرية العـارية شديدة الانحـدار - انحـداراً أكبـر من ٤٠ درجة - حـيث تسـقط الكتل الصخرية وتصطدم بالأرض دون تعرضهـا للتدحرج أو الانزلاق وإن كانت تتعرض فى أغلب الأحوال للتكسر نتيجة اصطدامها .

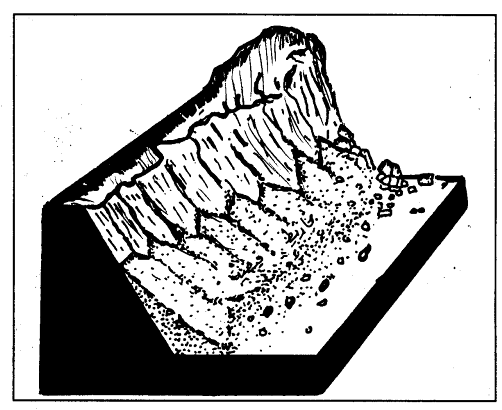
تعد السفوح الجـبلية المنحدرة (الأوجه الحرة) والجروف السـاحلية من أكثر المناطق تعرضًا للسقوط الصخرى كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٣٤) .

راجع مع الشكل السابق الصـورة (١٣) التى توضح سفحًا شـديد التقطع[٢] والانحدار على جانب وادى « حلى » عـند منطقة الحيلة بمرتفعات عـسير، لاحظ

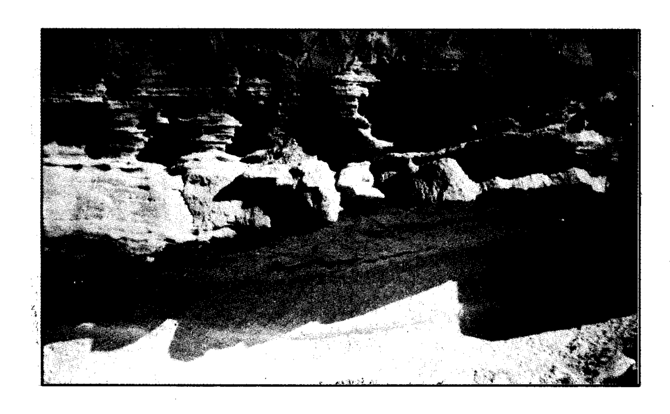
---

(١) لا تتحـرك المواد على هذا النوع من السفـوح بمفردها حيث إنهـا قد تتحـرك بالزحف عند زوايا انحدار مـعينة وذلك عـند تشبع التـربة بالمياه وارتفـاع منسوب الماء الأرضى مما يظهـر أثـر قانون الطفـو Bauoyancy فى قلة ضغط التربة على سطح السفح ومن ثم تقل قوة احتكاكها مما يؤدى إلى تحرك التربة

(٢) يتكون هذا المنحدر الجرفى من صـخور نارية ومتحولة مـتقطعة ومتفصلة بفـواصل رأسية طويلة وفواصل أفقية أدت إلى شدة تفككه وتعرض صخوره للسقوط .



شكل رقم (٣٤)



صورة رقم (١٣)
سفح شديد التقطيع بفعل التجوية والرياح
يلاحظ كذلك أثر النحت السفلى لمياه السيول

كذلك الكتل المتساقطة والمنقلبة من حيث الحجم والشكل ووجه السفح المنحدر وكثافة الفواصل وتعرضها للتجوية وخاصة ما ينتج من تسرب للمياه خلالها وقيامها بالتجوية الكيماوية وفى أحوال كثيرة نجد سفوحًا شديدة الانحدار تقل بها عمليات السقوط الصخرى ويرجع ذلك إلى شدة صلابة صخورها وعدم وجود أسطح ضعف بها كالشقوق والفواصل التى تنفصل ـ نتيجة لكثافتها ـ كتل ومفتتات صخرية بشكل مفاجئ يصعب متابعتها فى الحقل[1] كذلك كثيرًا ما تسقط كتل منفردة كبيرة الحجم.

ونظرًا لكون العوامل المسببة لسقوط الصخر عوامل مناخية فى معظمها ، فإننا عادة ما نجد أن السقوط الصخرى فى العروض العليا يصل أقصاه خلال فصلى الربيع والخريف، كذلك قد يحدث سقوط صخرى بسبب الزلازل وذلك فى حالة تعرض سفوح جافة مكونة من صخور متماسكة لأى هزات أرضية قوية، كما أنها قد تتعرض لحدوث انهيارت للمفتتات الصخرية (صبرى محسوب ، ١٩٩٦، ص١٢٠) أما إذا كانت السفوح المعرضة للزلازل تتكون من رمال وتكوينات غرينية مشبعة بالمياه وضعيفة التماسك فإن أى اهتزازت تتعرض لها تؤدى إلى تسييلها وحدوث تدفق طينى أو انزلاق صخرى .

وعادة ما يرتبط السقوط الصخرى بحدوث تراجع واضح للحوائط الصخرية المنحدرة، كذلك يرتبط بتزايد كميات هشيم السفوح وذلك نتيجة لما يضاف إليها من مفتتات قادمة إليها من الأوجه الحرة free faces التى عادة ما ترتبط بها عمليات السقوط الصخرى، وقد كان يعتقد بأن منحدرات أسطح الركامات السفحية (هشيم السفوح) عادة ما تأخذ شكلاً مستقيمًا عند زاوية الاستقرار angel of repose ولكن أكدت الدراسات الحقلية أن معظم ركام السفوح له قطاع مقعر عند قاعدة السفح يعلوه جزء محدود ذو انحدار مستقيم وقد ثبت أنه كلما زاد ارتفاع الوجه الحر كلما قل انحدار سطح ركام السفح (شكل رقم ٣٥) .

---

(١) يعد تعاقب التجمد والانصهار والتعاقب الحرارى (تغير درجات الحرارة) وحفظ المياه داخل المسامات أو خلال الفواصل الصخرية وكذلك التفصل الناتج من إزالة الرواسب من فوق الصخر preasure release jointing والتجوية الكيماوية النشطة كلها عوامل تساعد كثيرًا فى السقوط الصخرى .

٢- الانزلاق الأرضى Landslide [1] .

تؤثر هذه العملية على المواد الصخرية التى تحتفظ بتماسكها مع تحركها فوق أسطح انزلاق sliding planes واضحة وجيدة التحديد .

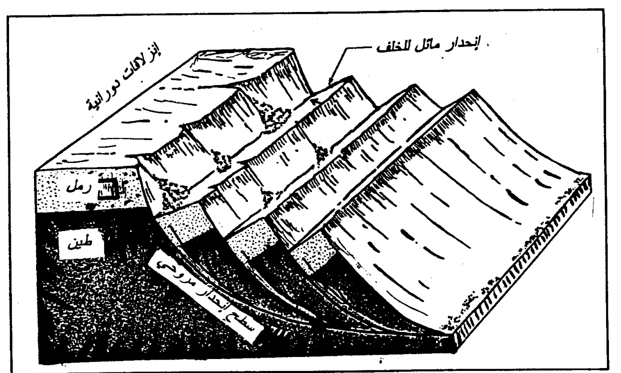
والحقيقة أن الانزلاقات الأرضية حساسة بدرجة كبيرة بالنسبة لمحتوى الصخر من الماء الذى يقلل من درجة مقاومتها من خلال زيادة ضغطه فى المسامات والفواصل والعمل على تقليل - ضعف - قوة الروابط bonds بين جزيئات الصخر، وفى نفس الوقت يزيد الماء من وزن المواد الصخرية بدرجة تؤدى إلى زيادة قوة التدفق إلى أسفل - نحو أقدام السفح - ولذلك كان الانزلاق الأرضى يصل إلى أقصى قوته بعد سقوط المطر الغزير أو فى أعقاب انصهار الجليد فى العروض العليا - وتزداد فعالية الانزلاق الأرضى إذا ما سقط المطر الغزير بعد فترة جفاف طويلة تعرضت خلالها صخور السفح لتشققات كثيفة بدرجة تزيد من طاقة التشرب ، وقد يحدث انزلاق لكتل منفصلة ، وقد يكون فى شكل حركة انزلاق لكمية ضخمة من المفتتات الصخرية rock debris تؤثر على أجزاء كبيرة من السفح،كما يحدث انزلاق ضحل بعد سقوط أمطار غزيرة على سفح طينى مغطى بمفتتات صخرية مجواة ، أما الانزلاقات العميقة فعادة ما تحدث فوق أسطح انزلاق منحنية (مروحية)arcuate slide planes .

ومن أهم أنواع الانزلاقات الأرضية :-

- انزلاق دورانى Rotational Slip :-

عادة ما يرتبط بصخور منفذة مثل الحجر الرملى ترتكز على طبقات غير منفذة مثل الصلصال وذلك فوق سفوح شديدة الانحدار مثل الجروف البحرية أو الحافات سريعة التراجع ، وعندما تنزلق الكتل الصخرية المتماسكة باتجاه أقدام السفح فإنها تبدو مائلة إلى الخلف tiltid back على سطح منحنى فى شكل سفوح درجية يمكنها حجز المياه الساقطة أو المفتتات المنزلقة كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٣٥) .

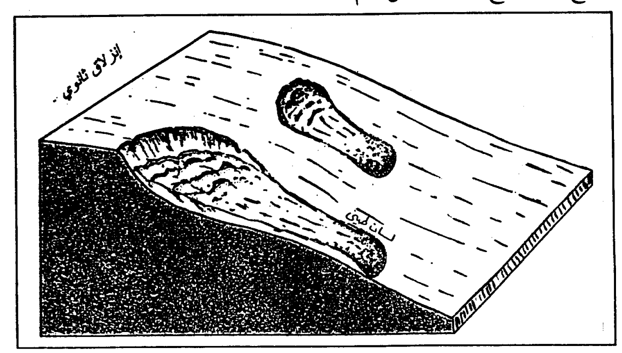
(١) من العلامات التى تدل على قرب حدوث انزلاقات أرضية ظهور شقوق سطحية فى أعلى المنحدر متعامدة على اتجاه الحركة ويصحب ذلك غالبًا ظهور شقوق مائلة نتيجة لحدوث إجهادات قص ، كذلك قد يحدث انبعاج فى أسفل السفح.



شكل رقم (٣٥)

- الانزلاق الثانوى Slump:-

يشبه الانزلاق الدورانى فى بعض الجوانب، وإن تميز عنه فى كون الكتل المنزلقة تتدفق متفككة وخاصة قرب أقدام السفح، حيث تكون المواد المنزلقة عبارة عن صخور مكسرة وضعيفة ذات بناء داخلى محدود،وينتج عنها ظهور علامات مروحية منحنية عند أعالى منطقة حدوث الانزلاق مع امتداد لسان باتجاه أقدام السفح كما يتضح ذلك بالشكل رقم (٣٦).



شكل رقم (٣٦)

إلى جانب النوعين السابقين توجد أنواع أخـرى من الانزلاقات الأقل شيوعًا مـثل الانزلاق « الزاوى » ويتم فيـه انزلاق مـواد صخـرية ذات بناء ضعـيف فى مستويين يتقاطعان فى نفس زاوية سطح الانزلاق .

- تدفق المفتتات الصخرية Debris Flow :-

يتكرر حدوثها فى المناطق التى تكثـر بها مفتتات مخـتلفة الأحجام،وفى هذه الحالة تـقل مكونات الطين فتـفقد المواد أسـباب تماسكهـا، وينتشـر هذا النوع فى السفوح بالبيئات شبه الجافة بحيث يكون محتواها المائى أقل من ٢٠٪ .

٣- الزحف الصخرى Rock Creeping :-

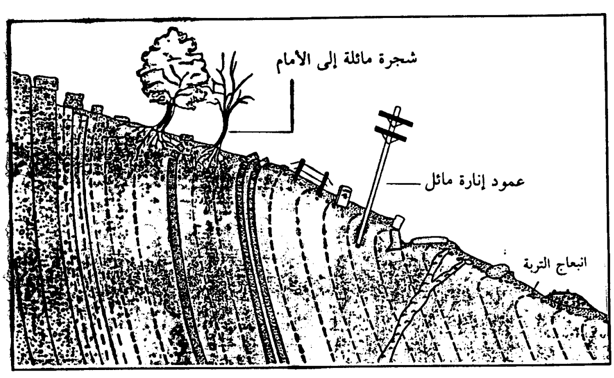
-**زحف التربة** :ينتج الزحف الصخـرى فى معظمه نتيـجة لتعاقب الـتمدد والانكماش ونتيـجة لقوى الجاذبية التى تسـاعد على تحريك المواد الصخرية المفـتتة نحو أقدام السفوح ، وعادة ما تتميز التـربة الصلصالية بزحفها المستمر؛ وذلك لأن الطين المشبع بالمياه يتحرك تحت إجهادات الجاذبية gravitational stresses .

يتراوح سـمك الطبقة الزاحـفة من أقل من ٢٠ سنتـيمتـرا إلى ما يزيد على ثمانية أمتـار ، ويصعب متابعة حركة هذه المواد الزاحـفة ولكن قد تظهر آثارها من خلال بعض العلامات والآثار يتـمثل أهمها فى ميل أسوار الحقـول وميل الأشجار باتجاه حركة الزحف مع انتـفاخ سطح المنحدر نتيجة لتراكم المفتـتات الصخرية أمام الجدران باتجاه قمة السفح (شكل ٣٧) .

- زحف المواد الصخرية أسفل السفح (هشيم السفح) Talus Creep :-

تتحـرك فيه المواد الصخـرية نحو حضيض المنحـدر مكونة مخروطا ركـاميا scree cone من المفتتـات الصخرية كبيـرة الحجم نسبيًا التى تـأخذ الشكل الهرمى وتتجمع عادة عند حضيض السفح شديد الانحدار ، وقد تتميز حركة الرواسب فى المخـروط الركـامى بالسـرعة وذلك فى حـالة تعـرض المنطقـة لتـتـابع التـجمـد والانصهـار. وهذه المواد الركامية من نفس تكوينات الحافة التى تتراكم عند أقدامها

وتختلف كمياتها وأحجام مفتتـاتها تبعًا لاختلاف القوى التى كونتها ، وتكثر هذه الظاهرة فى العروض البـاردة والمعتدلة البـاردة والمناطق المدارية الجافة حـيث نجدها كثيـرًا عند حضيض الحافـات الجبلية بصحارى مـصر والجزيرة العربيـة وغيرها من المناطق .



شكل رقم (٣٧)

- زحف التربة المشبعة بالمياه (تسييل التربة) Solifluction :

تنتشـر هذه العملية فى المناطق التى تتـأثر بالتعرية الجليدية وهى عـبارة عن تحرك بطىء لمواد التربة soil materials من جلاميد ومفتتات صخرية أصغر حجمًا فى المناطق الباردة فـوق سفوح هينة الانحـدار (يتراوح انحدارها مـا بين درجتين وثلاث درجات) تختفى منها الغطاءات النباتيـة مع تجمد دائم لطبقة ما تحت التربة subsoil والتى تعمل بدورها على حـجز المياه بالطبقـة الطينية العلوية مما يؤدى إلى حدوث تحرك للتربة نتيجة للتشبع الزائد بالمياه over saturation (جودة ، ١٩٨٠ ، ص ٢٩٩). شكل ٣٧ ب الذى يبين مدرجات نشأت من زحف تربة مشبعة بالمياه.



شكل رقم (٣٧ب)
مدرجات نشأت من زحف تربة مشبعة بالمياه

٤- حركات سريعة للمواد تعتمد على تشحيم نشط active - lubrication للمواد المتحركة بفعل المياه ، وأهم هذه العمليات السريعة :-

- التدفق الأرضى Earth Flow :-

يقصد بها انسياب سريع للمواد الترابية باتجاه أقدام السفح يساعد على شدتها تشبعهـا بالمياه بدرجة كبيرة ، وينتج عن حـدوثها تسوية سطح الأرض وذلك بردم المقعرات concavities وتشكيل الملامح المورفولوجـية لأسطح المصاطب الصـخرية التى تتعرض لحدوثها .

وعندما تتـدفق هذه المواد فإنهـا لا تلتزم بمجـرى معين بل تظهـر فى مظهر غطائى متسع وخاصة على المنحدرات الجبلية فى العروض العليا .

- التدفق الطينى Mud Flow :-

تظهر على السـفوح شديدة الانحدار التى تتعـرض لأمطار غزيرة تؤدى إلى تشبع المواد الفتـاتية بدرجة كبيرة بالمياه ممـا يجعلها تتحرك بسرعة كـبيرة فى شكل طبقة سميكة من المواد الطينية الزلقـة داخل مجرى طينى منحدر الجوانب قد يكون فى شكل وادى منخـفض الجوانب ولكن رغم انخـفاض جوانبـه إلا أنها عـادة ما

تكون شديدة الانحدار ، وينجم عن هذه الحركة تكوين ألسنة طينية ضخمة للغاية قد تطمر المنشآت المجاورة مسببة أضرارًا كبيرة، مثلما حدث مع التدفقات الطينية على منحدرات جبال النرويج والتى قدر متوسط سرعتها فى البداية ستة أميال (أكثر من عشرة كيلو مترات) فى الساعة تقل بعد ذلك باتجاه أقدام السفح (أبو العينين ، ص ٣٢٦) .

وجدير بالذكر أن التدفقات الطينية قد تحدث فى العروض المدارية الجافة وشبه الجافة وذلك عندما تكون السفوح خالية من الغطاءات النباتية مع وجود كميات ضخمة من المفتتات التى إذا ما تعرضت لأمطار فصلية عاصفة فإنها تتحرك داخل مجارى الأودية الجافة فى شكل تدفقات طينية مختلطة بصخور ومفتتات كبيرة الحجم .

وكما ذكرنا من قبل فإن تعرض المناطق التى تتكون سفوحها من رمال وتكوينات طينية مشبعة بالمياه لهزات أرضية يحدث لها تسييل وبالتالى حدوث تدفق طينى أو انزلاق صخرى ، وعندما تتعرض الرواسب المشبعة بالماء لأمواج القص shear waves الاهتزازية فإنها تتعرض للتصلب compaction (اندماج جزيئاتها) فإذا لم تتمكن المياه التى تحتويها على الخروج منها أثناء التصلب الذى تعرضت له فإن ضغط هذه المياه يزداد بشكل عنيف جدًا وهنا تصبح الرواسب المشبعة بالمياه كالسائل مما يؤدى إلى حدوث انتشار جانبى لهذه الرواسب lateral spreading مع حدوث انسياب وحركة على السفوح التى تزيد انحداراتها على ثلاث درجات (صبرى محسوب ، ١٩٩٦، ص ١٢٠) .

ومن التدفقات الطينية أيضا ما يعرف بتدفقات الطين البركانى volcanic mud flow فقد تتدفق فى أحوال كثيرة من أعالى المخروط البركانى كميات ضخمة من الطين تنحدر نحو أقدامه ونحو المناطق السهلية المجاورة مكتسحة كل ما يقابلها من منشآت عمرانية ومناطق مزروعة وغيرها يساعد على تكوينها سقوط أمطار غزيرة فى أعقاب تكون سحب الغبار البركانى [1] والتى تعمل على ترسيب كميات ضخمة من الغبار والرماد تمتزج بمياه المطر لتكون طبقة طينية سميكة فوق سطح

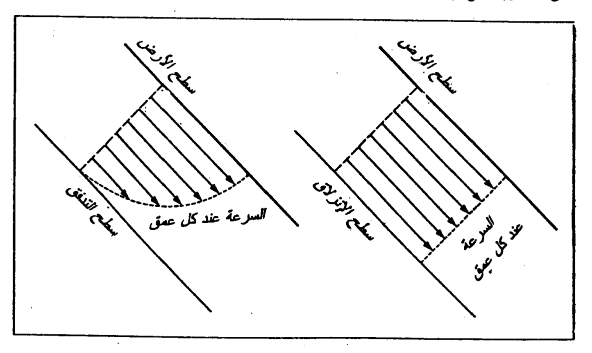
(١) كثيرًا ما تسبب رخات الرماد البركانى فى حدوث أضرار فادحة حيث تغطى سطح الأرض عادة بسحب داكنة اللون من الأتربة والدخان ، وقد يتراكم الرماد البركانى فى شكل غطاءات على مساحة واسعة من الأرض قد يصل سمكها إلى عدة أمتار .

الأرض ، وقد يكـون التدفق الطينى سـريعًا وخـاصة إذا ما زاد حـجم المواد التى تتدفق من أعالى المخروط البركانى .

قياسات خاصة بعمليات السفوح :-

١- السرعة Velocity :-

توجد الـعديد من العـوامل المؤثرة فى سرعـة حركـة المواد الصخـرية فوق السفح تتمثل أساسًا فى خصائص المواد الصـخرية (المفتتات) من حيث التماسك ودرجة الاحـتكاك بسطح السفح ونوعه وغـير ذلك من الخصـائص، ويبين الشكل رقم (٣٨) اختلاف سـرعة حركة المواد فوق السـفح عند أعماق مخـتلفة ، كذلك يـظهر أثـر درجـة انحدار السـفح وظـروف المناخ على معدل سرعـة هـذه المواد إذا مـا عرفنا أن زحف التـربة soil creep فى المناطق المعـتـدلة قد يتـراوح بين ١-٢ ملليمـتر فى السنة بينمـا يزيد معـدل السرعة إلى مـا بين ٣-٦ ملليمـتر سنويا فى المناطق المدارية الرطبة .



شكل رقم (٣٨)

٢- حجم المواد الصخرية المنزلقة :

يعد حـجم (كمية) المواد الـصخرية المنزلقة أو المـتحركة من المعـايير ذات الأهمية الكبيرة فى الفـهم الجيومورفولوجى وخاصة مع ارتباط كل كـمية بالعملية

التى أدت إلى تحريكها فـوق السفح وذلك لكونها تعكس طبيعة العـمليات السائدة وأسبابـها ، قد قدرت كـميات المواد المنزلقة وكـميات المواد الصخـرية الناتجة عن التدفق الطينى فى منطقة وادى سانت جيان saint jean valley على النحو التالى:

- جملة المواد المتدفقة ٧ مليون متر مكعب .
- الكتل الصخرية الساقطة ٥-٥٠ متر مكعب .
- انهيارات جليدية ١٠- ١٠٠ متر مكعب .
- انزلاقات أرضية محدودة ٥٠- ٢٠٠ متر مكعب.

مثل هذه البيانات المتناقضة من شأنها أن تلفت الانتباه إلى الأحداث المتطرفة النادرة والتى قد تكون مضللة فى نفس الوقت (Clark, N, and Small, Y, P 43) والواقع أن الأهمية الجيومورفولوجية للعملية (ترتبط بكميات المواد وسرعة الحركة) تتماثل بنفس القدر مع أهمية التحديد المكانى والزمنى للعملية .

٣- المساحات التى تغطيها المواد المتحركة على السفوح وتكرار عملية الانهيار :-

تتحـدد كميـة المواد التى تتعرض للانهـيار بالمسـاحة التى تتعـرض لها هذه العملية ، وفتـرة استمرارها duration وتكرار حدوثها frequency of occurence فنجد أن بعض أنواع الزحف غالبًـا ما تكون مستمرة على معظم السـفوح الجبلية على العكس من ذلك نجـد أن الانزلاق الصخرى قـد يحدث فـجأة ولا يستـغرق سوى بضع ثوان فى مواضع محددة من السطح لا تتعـدى أمتارًا محدودة ويحدث بشكل نادر وتحت ظروف معينة .

ومن القياسات التى تمت لكميات المواد المتحركة على السفوح ما قام به An-der Rapp, 1960 فى وادى كاركـيفاج Karkevagge فى منطقة اللابـلاند بالسويد يمكن أيجازها بالجدول التالى رقم (٢) .

جدول رقم (٢) قياسات راب Rapp للعمليات المرتبطة بالسفوح

العملية	الكمية السنوية	المعدل السنوى للحركة بالامتار
السقوط الصخرى	٥٠	٢٢٥
الانهيارات	٨٨	١٥٠
الانزلاقات	٥٨٠	٥, - ٦٠٠
زحف الركام	٣٠٠ر٠٠٠	٠١,
زحف التربة المشبعة بالمياه	٥٥٠ر٠٠٠	٠٢,
مواد ذائبة بالمياه	١٥٠	٧٠٠

المصدر Clarck and Small

٤- عمق حركة المواد على السفح :

تنقص معدلات سرعة المواد المتدفقة على السفح بمعدل كبير مع العمق وذلك باستثناء المنطقة التى تمتد خلالها جذور النباتات ، ونجد أنه فى بعض الحالات الاستثنائية قد تمتد عملية الزحف حتى عمق ثمانية أمتار ، بينما نجد الزحف البطىء للتربة المشبعة بالمياه solifluction عادة ما تكون حركة ضحلة (سطحية) تتراوح أعماقها ما بين ٤٠-٦٠ سنتيمتر ، بينما يتراوح عمق التدفق الأرضى earth flow والتدفق الطينى ما بين نصف المتر وعشرة أمتار ، بينما قد تمتد الانزلاقات العميقة لعشرات الأمتار من السطح .

اشكال السفوح وزوايا انحدارها

مقدمة :-

يقصد بالسفح slope : السطح المنحدر بأية درجة عن المستوى الأفقى ، وعادة ما نجد أن الأسطح تامة الاستواء لا تمثل سوى نسبة محدودة للغاية من سطح الأرض والذى يتكون معظمه من سفوح ذات انحدارات متباينة .

ونظرًا لأهمية السفوح ودرجات تحدرها بالنسبة للاستخدامات البشرية المختلفة ، فقد تركز الاهتمام على دراستها ومحاولة تفهم كامل للميكانيكيات التى تؤثر عليها وتسبب عدم استقرارها وذلك من قبل المهندسين الذين عليهم تفهم خصائصها الجيومورفوهندسية والتأكد من ثباتها واستقرارها قبل تنفيذ أى مشروع هندسى عليها .

كذلك شهدت السفوح اهتمامًا كبيرًا من قبل الجيومورفولوجيين خلال سنوات النصف الثانى من هذا القرن، وتطورت أساليب قياسها من الحقل وإخضاع هذه القياسات لوسائل التحليل الكمى .

ومن الرواد الأوائل الذين اهتموا بدراسة السفوح ووضعوا نماذج مختلفة للتمكن من تفهمها Penck وليستر كنج ويونج Young وود Wood وغيرهم ، ومن المصريين المعاصرين إمبابى وصابر أمين وغيرهما .

وسوف تقتصر المعالجة هنا على دراسة أشكال السفوح الرئيسية وزوايا انحدارها مع إيجاز لخصائص بعض النماذج الخاصة بها على النحو التالى :-

توجد السفوح فى أشكال محدبة convex أو مقعرة concave أو مستقيمة strait وهذه الأشكال الثلاثة الرئيسية يمكن تقسيمها إلى أقسام ثانوية حسب درجة وضوحها على النحو التالى :-

١ - السفوح المحدبة Convex Slopes :

يمكن تقسيمها إلى الأنواع الثانويـة التالية مع الأخذ فى الاعتبار أن لكل نوع منها رمزًا يدل عليها ويمكن توقيعه على الخريطة الجيومورفولوجية .

- انحدرات واضحة التحدب بدرجة كبيرة .
- انحدارات واضحة التحدب .
- انحدارات محدبة .
- انحدارات بسيطة فى تحدبها .
- انحدارات خفيفة التحدب بدرجة كبيرة .

٢- السفوح المقعرة Concave Slopes :

تنقسم الانحـدارات المقعرة إلى أنواع ثانوية بنفس التـقسيم السابق للسـفوح المحدبة .

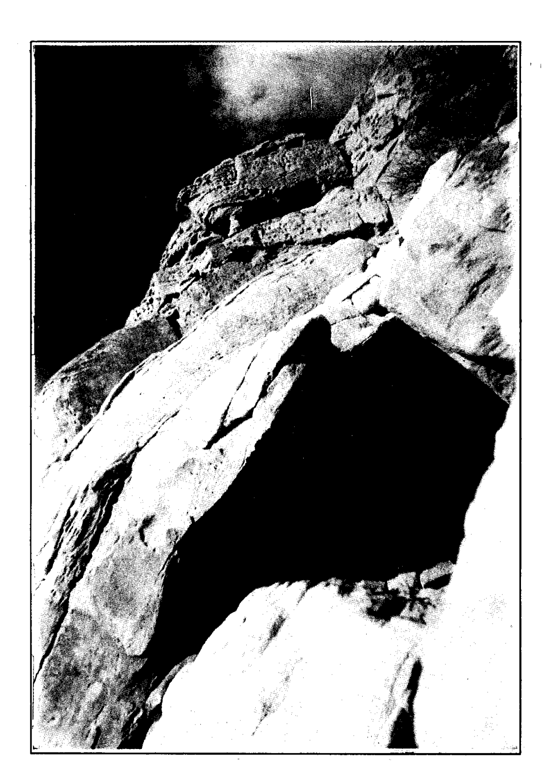
٣- السفوح المستقيمة Strait Slopes :

تظهر الكثـير من السفوح فى شكل مسـتقيم مع اختـلاف درجات الانحدار وعادة ما ترتبط بالصدوع والحافات الجـبلية فى مناطق الصخور النارية والمتحولة ، كذلك قـد تظهر فى البنية الجـيولوجية التى تتكون مـن طبقات صلبة تتـعاقب مع طبقات لينة مع ميل شديد للطبقات[١] صورة رقم (١٤) .

وكما ذكرنا من قبل فإن هناك نوعين من السفـوح تبعًا لأثر عمليات التجوية على صخورها وحركة المواد الفتاتية والمحطمة عليها وهذان النوعان من السفوح :

---

(١) كثـيرًا مـا تظهر الاشكال الثـلاثة فى منحدر من المنحـدرات على جوانب أحـد الأودية أو على السـواحل أو حول المنخفضات الصحراوية ، ويمكن الـتعرف عليها من خلال تتابع السفح والذى يتحدد من خلال العنصر المحدب والقسم المستقيم ثم العنصر المقعر إلى أسفل .



صورة رقم (١٤)

سفح مستقيم من صخور نارية مع حدوث انزلاق لوحى

ا **النوع الأول** : سفوح ذات نقل محدود وتتميـز كما عرفنا بأن معدل نقل الرواسب فـوقـها أقل من مـعـدل التجوية الذى تتـعرض له صخورها ، وعادة ما تغـطى هذه السفـوح بطبقـة سميكة مـن التربة التى تنمـو فوقـها

النباتات، وينتشر مثل هذا النوع من السفوح فى العروض المعتدلة الرطبة والمناطق المدارية المطيرة .

النوع الثانى: سفوح تتحرك فوقها الرواسب بسرعة حيث يتفوق معدل حركة الرواسب على معدل التجوية السائدة .

أما عن درجات الانحدار فإن السفوح تتراوح تراوحًا كبيرًا فى درجات انحدارها من سفوح ذات انحدارات هينة للغاية إلى سفوح شديدة الانحدار ، وتقاس الانحدارات من خلال قياس زوايا الانحدار أو حساب معدلات الانحدار، من الخريطة الكنتورية ، وتصنف انحدارات السفوح حسب معدلات انحدارها ونسبها المئوية وزواياها على النحو التالى :

- الانحدار اللطيف (الهين) Gentle Slope :

يصل معدله ١-٦٠ بنسبة $\frac{٢}{٣}$ ١ ٪ وزاويته ٣٤,٠ .

- الانحدار المعتدل :

يتراوح معدل الانحدار ما بين ١-١٠ إلى ١-٢٠ بنسبة مئوية تتراوح من ٥-١٠ ودرجة انحداره (زاوية الانحدار) ما بين $\frac{١}{٢}$ ٢ و $\frac{١}{٢}$ ٥ درجة تقريبًا .

- انحدار قوى :

معدل انحداره ١-٥ ونسبته ٢٠٪ درجة انحداره $\frac{١}{٢}$ ١١ درجة تقريبًا .

- سفح منحدر Steep :

يتراوح معدل انحداره ما بين ١-٣ و١ - $\frac{١}{٢}$ ٤ ونسبته المئوية ما بين ٢٢- ٣٣ وتبلغ زاويته $\frac{١}{٢}$ ١٨ تقريبًا .

- سفح شديد الانحدار :

يتراوح معدل الانحدار ما بين ١-٢ و ١-١ ونسبته المئوية ما بين ٥٠-١٠٠ وزاوية انحداره ما بين ٢٦ - ٤٥ .

نماذج شكل السفح وتطوره :-

للتغلب على صعوبات ملاحظة ودراسة مراحل تطور السفوح اجتهد العديد من الجيومورفولوجيين فى وضع نماذج مختلفة وخاصة بأشكال السفوح وما يعتريها من تغير خلال مراحل تطورها ، والهدف من ذلك يتمثل فى تفهم تطور أشكال السفوح خلال تاريخها الجيومورفولوجى الذى يستحيل تتبعه بالقياس من الطبيعة .

وفيما يلى إيجاز لمضمون نموذجين من هذه النماذج :

أ - نموذج وود Wood,s Model :

يعد نموذج وود بوحداته الأربع والخاص بتطور السفوح مثالاً جيداً لوصف شكل السفح وتطوره خلال تاريخه الجيومورفولوجى [1] ، ويتميز هذا النموذج ببساطته وملاءمته لظروف بيئية مختلفة ، لذلك استخدم كثيراً فى الدراسات الجيومورفولوجية البريطانية الحديثة والخاصة بدراسة انحدارات سطح الأرض .

ولقد حدد Wood شروطاً لكى يتطور السفح بالصورة التى يراها فى نموذجه تتمثل أهم هذه الشروط فى وجود سفح أصلى مرتفع high initial slope يتميز بصخوره الصلبة ، مع اختفاء عمليات التقويض السفلى under cutting ، وهذه الظروف أو الشروط تتوافر فى المناطق شبه الجافة مما يجعل هذا النموذج بمثابة تمثيل جيد للسفوح الجبلية فى مثل هذه المناطق .

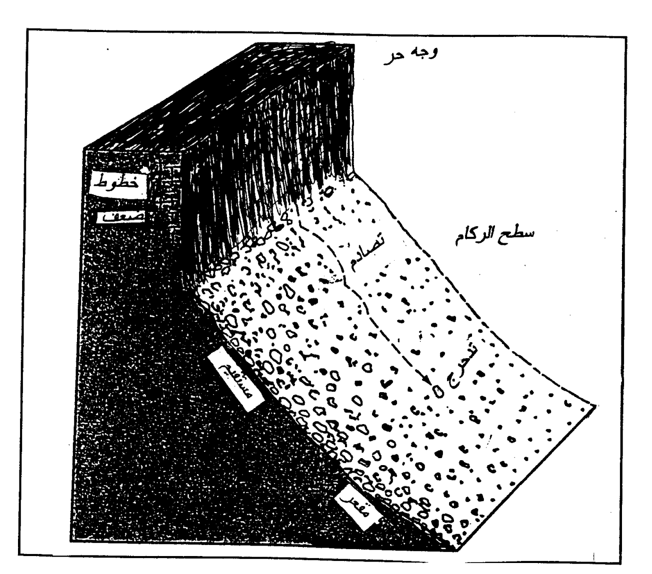
ويظهر من الشكل التالى رقم (٣٩) ما يلى :

- تراكم مفتتات صخرية فى شكل منحدر هشيمى talus slope أسفل جرف متراجع يتكون من وحدتين رئيسيتين ، وقد نتجت هذه المفتتات من عمليات تجوية لسفحه مع تساقط المفتتات وانزلاقها من أعالى الجرف إلى أقدامه .

ويرى وود Wood بأنه قد يحدث فى المناطق الرطبة أن يتطور شكل الأجزاء العليا من الجروف إلى الصورة المحدبة Convexity ، ويرى كذلك أنه مع التجوية

---

(١) اقترح عام ١٩٤٢م .

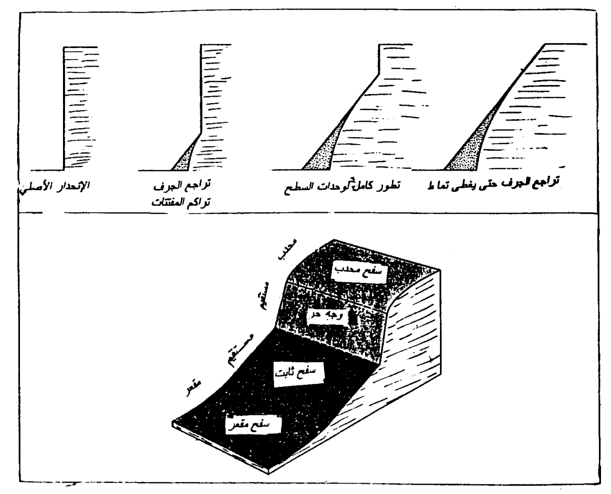


شكل رقم (٣٩)

النشطة وتتابع عـمليات النقل النشطة للرواسب باتجـاه أقدام السفح (نهاية امـتداد رواسب أقدام السفح) ينتج انحدار مقعر سفلى **basal concavity** ومن ثم يتشكل السفح فى صورة أربع وحدات كما يظهرها الشكل (٤٠) وهى :

١ - الوجه الحر Free :

يمتد أعلى السـفح وهو مصدر المفتـتات الصخـرية المكونة لأسطح الوحدات السطحية الأدنى ، وكلـما كثرت به الشقـوق ساعد ذلك كثيـرًا فى زيادة معدلات تراجعـه بسرعة أكبـر وساعد بالتالى على زيادة حـجم المفتتات عند أقـدام السفح حيث إنه فى هذه الحـالة يكون بمثابة سطح تنشط فوقه عـمليات التجوية بنوعـيها والتى بدورها تساعـد على تراجعه ، وتتراكم المفـتتات الصخرية النـاتجه عن تجوية الوجه الحر فى شكل ركام سفوح (هشيم) على سطح المنحدر الثابت .



شكل رقم (٤٠)

٢- السفح الثابت Constant Slope :

يلى الوجه الحر إلى أسـفل ويتميز باسـتقامته وانحـدار سطحه المنتظم الذى تغطيه المفتتات القادمة من الوجه الحر .

٣- السفح المقعر Concave :

يلى السفـح الثابت نحو حـضيض المنحـدر وهو عبارة عـن رواسب تعرف بهشيم السفـوح ، ويتم عليه العديد من عمليات الغسيل الصخـرى حيث يتشرب كميات كبيرة من المياه القادمة إليه على طول سطح المنحدر .

٤- السفح المحدب أعلى الوجه الحر :

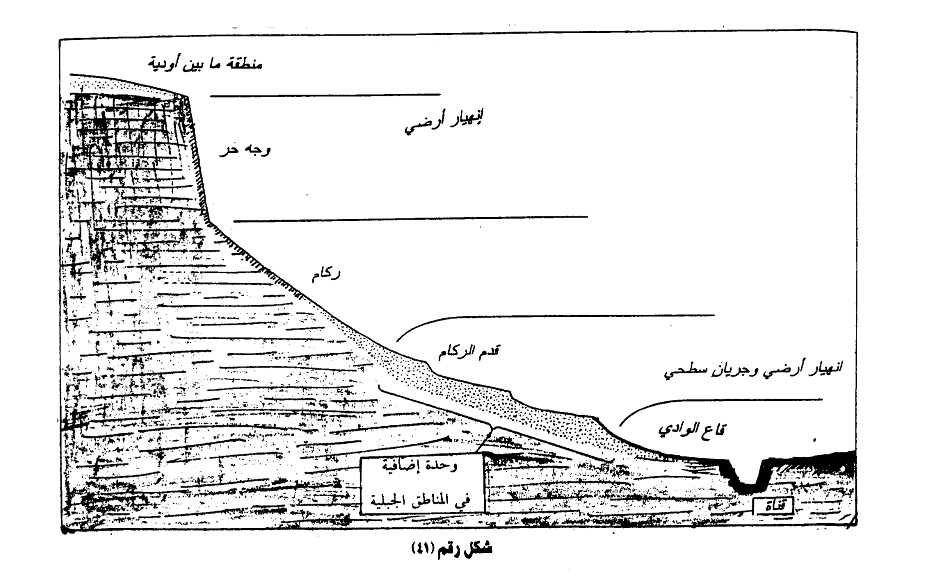
يـظهـر نتيجـة لنشـاط عمليات التـجـويـة المختلفـة وقد أوضح « آلان وود » A. wood بأن تراجع المنحـدرات الجبليـة بهـذا الشكل سابق الذكر لا يقـتصر على

أسطح الحافات الصخرية فقط ، بل إن جوانب الأنهار شديدة العمق تتراجع تراجعًا خلفيًا بدرجات متشابهة مع ما يحدث لأسطح الحافات الجبلية (أبو العينين، ص ٣٥٢) .

ولا يشترط فى الحقيقة وجود الأوجه الأربعة مع بعضها فى أى مكان ، فعلى سبيل المثال والتوضيح نجد أن التجوية الفيزيائية إذا ما أنتجت مفتتات صخرية (هشيم سفوح) بمعدلات أكبر من معدلات الإزالة بفعل عمليات التعرية فوق السطح الثابت فيمكن فى هذه الحالة أن يستمر فى تطوره ونموه باتجاه الوجه الحر ، بحيث يغطى السفح بالكامل بالمفتتات التى تخفى تحتها صخر الأديم (الأساس) bed rock .

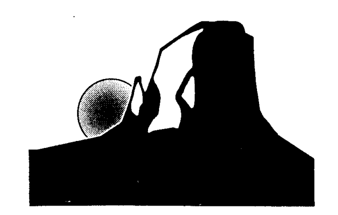
ب- نموذج كين Caine Model :

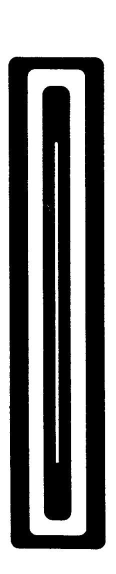
يتكون هذا النموذج الذى اقترحه كين Caine عام ١٩٧٤ من خمس وحدات كنموذج مثالى للسفح الجبلى كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (٤١) أ - ب وهو فى واقع الأمر يتكون من أربع وحدات تشبه وحدات نموذج (وود Wood) ولكنه أضاف إليها وحدة خامسة تمثل امتدادًا إرسابيًا عند أطراف هشيم السفح باتجاه قاع الوادى المقعر (راجع الشكل السابق) هذه الوحدة المضافة تعكس فى الواقع عمليات التعرية الجليدية النشطة عند الأطراف الخارجية لهشيم السفح حيث المواضع الرطبة التى تنشط فيها عمليات التجوية .


منطقة ما بين أودية
إنهيار أرضي
وجه حر
ركام
قدم الركام
انهيار أرضي وجريان سطحي
قاع الوادي
وحدة إضافية
في المناطق الجبلية
قناة

شكل رقم (٤١)

الفصل الخامس





التعرية النهرية والأشكال الأرضية المرتبطة بها



مقدمة

تعد الأنهار من أكثر العوامل التى تشكل سطح الأرض ، وخاصة فى المناطق الرطبة ، فهى تنحت لتشكل أودية فى المناطق المرتفعة ترتبط بها قمم وحافات وتلال وغيرها من الأشكال المورفولوجية البارزة ، وتقوم بنقل المواد الصخرية التى تنحتها من المناطق المرتفعة لترسبها حولها فى شكل سهول مستوية أو قليلة الانحدار .

هكذا نرى ببساطة أن الأنهار كغيرها من عوامل التعرية تقوم بعمليات النحت والنقل والإرساب لتحول من خلالها السطح الأصلى original surface بمرور الزمن إلى سهول مستوية تعرف بالسهول التحاتية (السهوب) peneplains ، فعندما تسقط الأمطار فوق سفح منحدر تنساب مياهها على السفح انسيابًا غطائيًا حتى تتمكن المياه من نحت قناة محددة بأبعاد (عمق واتساع) تسمح بتحريكها -أى المياه - خلالها داخل حوض النهر باتجاه المصب .

ويوجد النهر ومجموعة روافده tributaries وفروعه distributaries داخل منطقة محددة بخطوط تقسيم مياه تعرف بحوض التصريف النهرى drainage basin تمثل فى حقيقة الأمر نظامًا طبيعيًا مفتوحًا open natural system له حدوده الواضحة التى تمتد على طول خط القمم المحيطة به ، وله مدخلاته inputs ومخرجاته outputs.

تتمثل المدخلات هنا فى المياه التى قد تأتى من الأمطار أو تأتى من انصهار الجليد على القمم المرتفعة بمنابع النهر أو قد تأتى من بحيرة ينبع منها النهر من خلال روافده العليا بحيث تتدفق هذه المياه من رتبة نهرية إلى رتبة أكبر باتجاه المجرى النهرى الرئيسى الذى يتجه مع الانحدار العام للأرض نحو أخفض منسوب عند المصب والذى يعرف بمستوى القاعدة base level .

وتعرف كمية المياه فى النهر باسم الجريان السطحى (التدفق) run off أو التصريف dischage وهذه المياه هى التى تقوم من خلال ما بها من طاقة

بعـمليات التـعرية الثـلاث التى تشكل سطح الأرض داخل حوض النهـر ، ومن المدخلات كـذلك الطاقة الشـمسـية solar energy والرياح والمفتتـات الصخرية وغيـرها، أمـا المخرجات فـتتمثل فى المياه المتدفقة خارج الحـوض من فتحة المصب أو المياه الصاعدة فى شكل بخار ماء vapours وتتمثل كذلك فى المفتتات الصخرية (راجع للاستزادة المؤلف ١٩٩٦م ، ص١٢٩).

وقبل أن نتعـرض لعمليات التعـرية النهرية والأشكال الأرضية النـاتجة عنها يجب أن نضع فى الاعتـبار أن حوض التصـريف النهرى نظام بيئى طبيـعى شديد التـعقيـد يتضـمن داخل حدوده أنـواعًا غاية فـى التنوع من التكوينات الصخـرية السطحية والتربة ومن النباتات الطبيعية وغيرها من مكوناته كنظام طبيعى مفتوح ، وأن ما يأتى إليه من مـياه تتعرض للعديد مـن العمليات منها البخـر والتسرب فى التكوينات الصخرية والاستهلاك بواسطة النبات إلى جانب ما يستخدمه الإنسان من مياه لسد حاجاته وأغراضه المتعددة .

وكما نعرف فإن تصريف النهر يقصـد به كمية المياه الموجودة فى لحظة معينة ويمكن قياسهـا بالأمتار المكعبة فى الثانيـة الواحدة (متر٣ / ثانية)، كـذلك يعد منسوب سطح مـاء النهر من الأمور الـهامة التى تسـاعد فى تفهم مـا يقوم به من عمليات ، وأن هناك عـلاقة طردية بين تصرف النهر وسرعتـه وبالتالى قدرته على حمل المفتتات (من حيث الكم وحجمْ الحبات) والمقدرة على النحت كما سيتضح ذلك من خلال صفحات هذا الفصل .

النحت النهـرى

تعتمد طاقـة النهر ومقدرته على النحت فى أية نقطة من مجـراه على كمية مياهه volume من جهة والسرعة velocity من جهـة أخرى ، حيث تؤدى كمـية المياه الزائدة – أثناء الفيضــان – إلى تفوق قوة تحركها على قـوى رد الفعل المتمثلة فى الاحتكاك بالقاع والجوانب[1] .

---

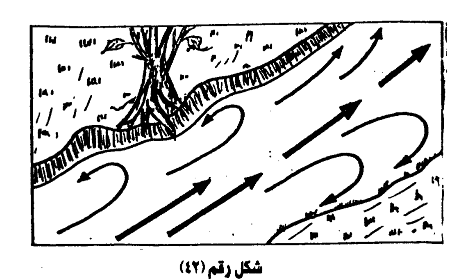
(١) ويستهلك كل مـن الاحتكاك بالقاع والجانبين بالإضافـة إلى الاحتكاك الداخلى internal friction نحو ٩٧٪ من الطاقة المتاحة بالنهر.

أولاً ـ النحت الرأسى لمجرى النهر ويتم بالطرق التالية :-

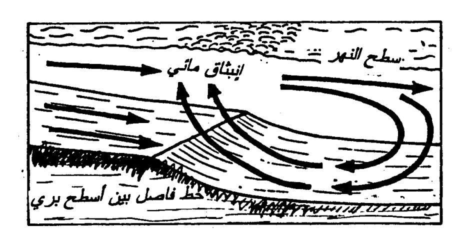
(أ) الفعل الهيدروليكى Hydraulic Action :

يرتبط الفعل الهيدروليكى للمياه بسرعة النهر وكمية مياهه ويتم من خلاله تعميق المجرى وتوسيع قناته وخاصة مع وجود صخور غير متماسكة ، بينما يقل أثره - أى الفعل الهيدروليكى - فى حالة الصخور المتماسكة ويتركز فقط فى مواضع الضعف من شقوق وتجويفات لينتهى الأمر بتوسيعها وإزالة مفتتاتها التى تضاف إلى حمولة النهر بعد ذلك .

وبالنظرة الفاحصة لحركة مياه النهر السطحية نجد أنها تكون أسرع وسط القناة المائية بالمقارنة بحركتها قرب الجانبين حيث تنقص السرعة تدريجيًا من الوسط باتجاه الجانبين ، ولكن بسبب عدم انتظام شكل القناة المائية تتكون حركة شبه دائرية للمياه تتجه من الوسط نحو الجانبين بحيث يبدأ تحركها الفعلى باتجاه أعالى النهر ، وتعرف هذه الحركة بالحركة أو التدفق الدوامى turbulent flow كما يتضح ذلك من الشكل التالى رقم (٤٢) إلى جانب ذلك تحدث حركة دوامية رأسية vertical turbulence تنتج عن زيادة سرعة المياه السطحية بالمقارنة بسرعة المياه قرب وعند قاع النهر كما يظهر ذلك شكل رقم (٤٣) ويظهر أثر الدوامات الرأسية فى ظهور أشكال النيم ripples (التموجات) بقاع النهر وذلك نتيجة للحركة الدوامية للمياه من قاع النهر باتجاه السطح ، وينتج عن الدوامات المائية احتكاك بين جزيئات الماء المتحرك باتجاهات وسرعات مختلفة يعرف بالاحتكاك الداخلى (Sawyer, K.E, 1978, P13) ، وتتمثل أهمية التيارات الدوامية فى زيادة فعالية النحت النهرى ، ويقدر بأنه فى حالة وصول سرعة التدفق المائى إلى ١٢ متر فى الثانية - مثلما الحال فى السيول الجبلية أو فى مواضع الشلالات - يحدث نوع من النحت المائى يسمى بالحفر التجويفى cavitation وينتج أساسًا عن تولد أمواج اهتزازية ذات تأثير شديد جدًا على الصخور مما يؤدى إلى تنقيرها وتفككها فى نهاية الأمر.



شكل رقم (٤٢)



شكل رقم (٤٣)

هكـذا فـإن النحـت الهيدروليكى لا يتـم فـقـط بواسـطة التيـارات القـوية الناتجة عن سـرعـة التـدفـق المائى ولكـنه يتم كـذلك بواسـطة انضـغـاط الميـاه وتفجـرها (ضغطهـا داخليا) implosion داخل الشقـوق وخروجها منهـا باندفاع (Newson, M.D and Hanwell, H, 1982, P130) فى شكل متفجر explosive.

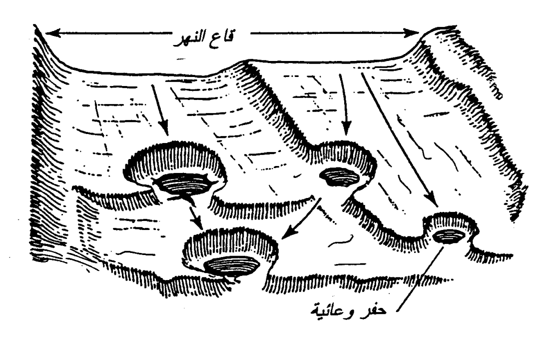
(ب) النحت الميكانيكى Corrasion :

يؤدى الفعل الهيدروليكى للمياه بجانب النحت الـتجويفى إلى توفر مفتتات صخرية بجـميع الأحجام تضاف إلى ميـاه النهر التى يتسلح بها ويقوم بمسـاعدتها

بعملية نحت أخرى تعرف بالنحت الميكانيكى وتعنى ببساطة تحطم صخور من قناة النهر نتيجة اصطدام شظايا ومفتتات صخرية بها، وخاصة تلك الصخور القاعية البارزة أو تلك التى تبرز على الجوانب بحيث تؤدى هذه الطريقة إلى صقل القاع وتنعيمه .

(جـ) الحفر الوعائى Potholling :

تعمل الدوامات الرأسية على تحريك الجلاميد والمفتتات باتجاه قاع النهر وعندما تحتجز هذه الشظايا والمفتتات الصخرية فى حفر بقاع النهر أو داخل مفصل صخرى فإن الحركة الدورانية للمياه والحصى فوق القاع تؤدى إلى ظهور حفر فى الصخور الصلبة تعرف بالحفر الوعائية potholes تزداد اتساعًا وعمقًا وتتصل ببعضها البعض فى نهاية الأمر مما يؤدى إلى تعميق المجرى كما يظهر ذلك من شكل رقم (٤٤) ، ويرى البعض أن هذه الحركة الدورانية التى تؤدى إلى تكوين الحفر الوعائية تنتج أساسًا عن تضافر كل من الفعل الهيدروليكى للمياه مع النحت التجويفى cavitation أكثر من كونها تنتج عن نحت من خلال عملية برى بالحفر الوعائية abrasion in potholes .



شكل رقم (٤٤)

(د) الطحن Attrition :

عندما تصطدم المفتتات الصخرية بقاع القناة النهرية وتصطدم ببعضها البعض فإنهـا تتفتت إلى جـزيئات أصغـر حجمـا فيمـا يعرف بعمليـة الطحن للرواسب (تناقص تدريجى فى حجم جزيئات حمولة النهر) .

وتـزداد فـعاليـة كل من الفعل الهيـدروليـكى والنـحت الميكانيـكى والطحن إذا ما تضـافرت معهـا وساعدتهـا عمليات النحت الكيـماوى corrosion وخاصة عندما تكون صخور القاع قابلة للإذابة .

ويبدو أثر جمـيع عمليات النحت الرأسى على قناة النهـر من خلال تأثيرها على شكل المقطع العرضى للنهر cross section ، فلو تصورنا أن النحت الرأسى هو العملية الوحيدة السائدة فإن النتيجـة الحتمية تتمثل فى ظهور خانق gorge like ذو جوانب رأسـية تمثل فى نفس الوقت جـوانب النهر ذاته، مـثل هذا الوضع قد يظهر فى مناطق ذات صخور شديدة المقاومة لـعمليات التجوية أو فى مناطق جافة تقل فيها فعالية عمليات التجوية ، وقد تظهر الخوانق فى مناطق يكون فيها النحت الرأسى أسرع من عمليات التجوية (Sawyer, K.E, P14) ولكن عادة ما نجد أن سيـادة عمليات التجـوية التى تصاحبـها حركـة مواد صخرية على سـفوح الوادى النهرى تؤدى إلى زيادة معدلات تراجع أعالى السفوح مقارنة بأقدامها بحيث يأخذ المقطع العـرضى للنهر حـرف V ، ويقـدر بأن النهر الذى يعـمق مجـراه بالطرق السابقة بمعـدل نصف ملليمتر فى الـسنة سوف ينتج بذلك واديًا عمقـه ٥٠٠ متر خلال مليون سنة .

ثانيًا ـ أما بالنسبة للنحت النهرى الجانبى Lateral Erosion :-

فيقوم به النهر لتوسيع مجراه على حساب تراجع الحافات المحيطة به ، وهذه العمـلية تتم فى جـميع مراحل تـطور النهر وإن كـانت تزداد وضوحًا فى مـرحلة النضج كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

تتم عملية النحت الجانبى داخل القناة النهـرية من خلال الفعل الهيدروليكى للمياه (ضغط الميـاه) حيث تعمل عند اندفاعها على اكتســاح المفتتات من جوانب النهر ، كما أنها تقوم بعملية التقويض (النحر السفلى) undercutting التى تشبه ما تقوم به من نحـر تجويفى بقاع النهر وخاصــة عندما تكون الصخور ضعـيفة فى مناطق الانحناءات بالقناة المائية .

كذلك تقـوم المياه بنحت جوانب قناة النهـر بمساعدة المفـتتات التى تحـملها وخاصة أثناء فترة الفيـضان عندما يكون التدفق الدوامى المضطرب سائدًا ، وتلعب الإذابة الكيماوية التى تقوم بها مياه الـنهر دورها أيضًا فى توسيع مجراه إلى جانب ما تقوم به الانهيارات الأرضية أيضًـا من دور هام فى عمليات التوسيع وخاصة فى المناطق الرطبـة أو فى العروض العليـا التى كثـيرًا ما تتعرض سفوحـها للانهيارات الجليدية وتدفقـات التربة. كذلك يقوى النحت الجانبى عندمـا تتكون الثنيات حيث يزداد النحت فى الجانب المقعر من الثنية كما سوف يتضح ذلك فيما بعد.

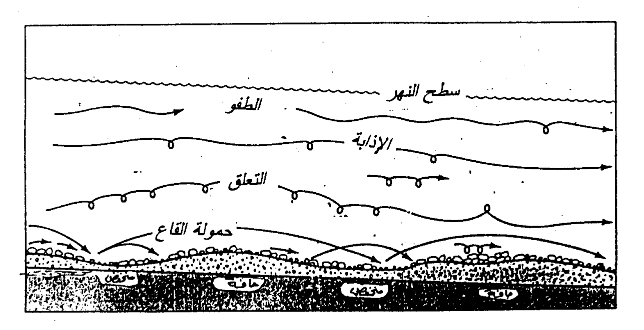
ثالثًا ـ يقوم النهر بعدة عمليات نحاتية لإطالة مجراه :

تتـمثـل أسـاسـًا فى عـمليـة النـحت التـراجـعى head ward erosion التى عادة ما تبدو أكثر وضوحًا فى المنابع العليا للأنهار أو فى مواضع الشلالات.

ويمكننا القـول بشكل عام أن القـوى التى تقوم بالنحت داخل القناة الـنهرية تماثل غالبًـا ما يتم على السفوح وإن وجـدت اختلافات ترجع إلى كـون الصخور داخل القناة النهـرية تحـاط بالمياه ، ومـن ثم فإن قـوة القص shear force اللازمة لتحريكها بعد نحـتها تعتمد أساسًا على عمـق الماء (عمق المجرى النهرى) ولزوجة المياه viscousity [1] ونوع الجريان المائى (صفحى أم دوامـى) ، وقد عرفنا من قبل أن الجريان الدوامى يزيد بشكل كبيـر من قوة النهر على النحت وذلك لكون الكتل كبيرة الحجم تتطلب سرعة كبيرة لتحـريكها وسرعة أكبر لنحتها ، بمعنى أن السرعة المطلوبة للنحت تكون أكبر من تلك المطلوبة لتحريك الكتلة الصخرية .

---

(١) قدرة حركة جزيئـات المادة السائلة على الحركة حول بعضها البعض وهـذه الحركة تختلف من سائل إلى آخر فمثلاً فى الجلسرين لا تتناسب الجزيئات بسهولة ومن ثم فهو أكثر لزوجة من الماء.



شكل رقم(١٤٥)

نقل الرواسب (حمولة النهر River Load)

تظهر الرواسب فى النهـر فى أربع صور تتمثل فى حـمولة القاع bed load ورواسب القـفز satation والمواد العـالقة suspended materials والحمـولة المذابة dissolved شكل رقم (١٤٥) .

وينقل النهر المواد القابلة للإذابة على طول مجراه بطريـقة غير ميكانيكية فى شكل حمولة مذابة فى مياهه، بينما يحمل المواد الدقيقة فى شكل حمولة عالقة ، وينقل المواد الصخـرية الأكبر حجمًـا بالتدحرج rolling أو القفز على طول امتداد قاع النهر ، على سبيل المثال تقدر حمولة نهر المسيسبى السنوية من الرواسب ٥٧٠ مليون طن (Sawyer, K, P8.) ينقل منها ٢٠٠ مليـون طن بالإذابة ٣٢٠ مليون طن حمـولة عالقة، بينمـا ينقل عن طريق الجر traction (التدحرج والتـقفز) ٥٠ مليـون طن ينتج عن كل ذلك حدوث تخـفيض فى سطح الأرض داخـل حوض تصريف المسيسبى يبلغ معدله ٣٣ سنتيـمتر لكل ألف سنة وهذا بالطبع معدل كبير جدًا فى العمر الجيولوجى للنهر .

أولاً ـ نقل النهر للمواد المذابة :

ينقل النهر جزءاً كبيراً من حمولتـه من الرواسب عن طريق الإذابة وخاصة إذا ما كان يجـرى وسط صخور قابلة للذوبان مثل الحـجر الجيرى أو الطباشيـر ، وكما ذكرنا آنفًـا فإن المواد المذابة لا تنقل بطريقـة ميكانيكيـة على غير الحـال مع نقل المواد الفتاتية الأخرى غير القابلة للذوبان ، حيث إنها تنقل مذابة فى مياه النهر .

والواقع أن هناك عـلاقة بين تصـرف النهر وتركـيز المواد المذابة ، فكلمـا قلت كمية المياه بالقنـاة النهرية يعنـى ذلك أن النهـر يستقبـل مـياها جوفية مشبعة بالعناصر الكيماوية الناتجـة عن التجوية وتفتت وتحلل المواد العـضوية ، وهكذا نرى أن الجريان المنخفض لأى نهر يكون أكثر تشبعًا بالعناصر المذابة مثل الكالسيوم المذاب dissolved calcium والمغنسيـوم والصوديوم وغيـرها من العناصر القابلة لـلذوبان وذلك بالمقارنة بالجريان العالى للنهر high flow [1].

ثانيًا ـ النقل بالتعلق Suspension :

ترتبط عملية نقل النهر للرواسب بواسطة التعلق بالجريـان الـدوامى للميـاه ومـا يتميز بـه مـن حدوث تيـارات صاعـدة وتيارات أفقية تحمـل معها المـواد الدقيقـة التى تتعلق فى كتلة المياه المتحركـة وهذه التيارات تعرف بتيارات العكرا turturbidity currents ، ومن ثم فـهناك علاقـة قوية بين كـميـة المواد المنقولة بالتـعلق وكـمية المـياه وسرعـتها فى النهر ، حـيث تكون المياه فى هذه الحالة قـادرة على التقاط جـزيئات الصخور غير المتماسكة وإثارتها وفى حالـة الجريان المنخفض واختفاء الدوامات تقريبًا تبدأ الجزيئات فى الاستقرار بالقاع من الأكـبر حجمًا إلى الأنعم ومعظم هذه الحمولة من الصلصال والغرين والغرويات colloids .

وفـى حـالــة الأنـهـار الكبـرى مـثـل النيــل والمسـيـسـبى وغيــرهـا نجـد أن تـركـيـز المواد الـعـالـقـة يقــل باتجـاه مصــب النـهـر ويـرجع ذلك أسـاسـًا إلـى أن

(١) قدرت كمية المواد المذابة التى تستقبلها البـحار كل عام حوالى ٢,٧ بليون طن تقريبًا، ويبلغ نصيب نهر النيل من هذه المواد المذابة ما يقرب من ١٠ مليون طن.

الجزء الأكبر من الحمولة العالقة يأتى من السفوح الأشد انحداراً فى مناطق المنابع داخل أحواض هذه الأنهار.

كيفية قياس حمولة النهر من المواد العالقة :

يصعب فى الحقيقة قياس الحمولة العالقة بالنهر وذلك بسبب اختلاف كمياتها من جزء إلى آخر داخل القناة المائيـة، ورغم ذلك فإن هناك طريقة تقريبيـة للقياس تتمثل فى أخذ عينة من الماء محدودة الحجم،ونحسب منها نسبة تركيز المواد العالقة بها والتى تحسب بالملجرام فى اللتر ، أو تحسب بالجزء فى المليون p.p.m ، ويمكننا القيام بـذلك من خلال ترشيح عينة الماء بواسطة ورقـة ترشيح filter paper ثم يتم بعد ذلك تجفـيفها عند درجة حرارة ١٠٥ ْم وبعـد ذلك يتم حساب وزن الرواسب المتبقية بالورقة من خـلال طرح وزن ورقة ترشيح من نفس نوع ورقة الترشيح التى استخدمت فينتج بطرحهما من بعضهما وزن المادة العالقة .

وتحسب نسبة تركيز المواد العالقة من خلال المعادلة التالية :

$$\text{التركيز} = \frac{\text{وزن المواد الصلبة المتبقية بالجرامات} \times 10^{6}}{\text{كمية مياه العينة بالسنتيمتر المكعب}}$$

ويمكننا بعد ذلك حساب كمية المواد المذابة من العينة السابقة وذلك من خلال تبخير المياه المتبقية من الـترشيح ثم بعد ذلك يتم وزن المواد المتبقية والذى يمكننا أن نحسب منه كـذلك الكمية الكلية للمـواد المذابة فى النهر وذلك من خلال قسـمته على وزن عينة الماء ثم ضربه × ١٠^٦ لنحصل على كمية الأملاح المذابة ، بالملجرام فى اللتر .

ومـن تقـديرات هوليمـان التى يظهـرها الجـدول التـالى يتـضـح لنـا ضـخـامـة الـرواسـب التى تنقلهـا الأنـهار إلـى المحـيطـات والتى تبلغ جـملتهـا ٢,٢٠ × ١٠^٩ طن سنويا تمثل آسيـا أكبر القـارات ٥٩١ طنا لكل كيلومتـر مربع . (Wilcock, D, 1983 , P47)

جدول رقم (٣) معدلات نقل الرواسب العالقة بالأنهار الرئيسية فى العالم

اسم النهر	الدولة	مساحة حوض النهر بالكيلومتر المربع	المعدل السنوى للحمولة العملاقة طن × 10^3
الكانج	الهند	٩٥٦ر٠٠٠	١ر٦٠٠ر٠٠٠
السند	باكستان	٩٦٩ر٠٠٠	٤٨ر٠٠٠
المسيسبى	الولايات المتحدة	٣ر٢٢٢ر٠٠٠	٣٤٤ر٠٠٠
الميكولج	فيتنام	٧٩٥ر٠٠٠	١٨٧ر٠٠٠
النيل	مصر	٢ر٩٧٨ر٠٠٠	١٢٢ر٠٠٠
الراين	هولندا	١٥٠ر٠٠٠	٥٠٤،٠٠٠
الفولجا	روسيا	١ر٣٥٠ر٠٠٠	٢٠ر٧٧٠ر٠٠٠

After Wilcook 1983

ثالثاً ـ حمولة القاع Bed Load :

تشتمل حمولة القاع على أكبر المفتتات الصخرية حجمًا حيث تنقل بواسطة التدحرج rolling أو الانزلاق sliding على طول قاع النهر ، وهنا يجب أن نميز بين مقدرة النهر على نقل كمية الصخور الكلية total mass of materials وكفاءته competence التى يمكن الحكم عليها من خلال أكبر كتلة أمكن تحريكها (Newson and Hanwel, P 147) .

فقد وجد العلماء أن الأنهار من الناحية العملية يمكنها أن تنقل حمولة من المواد الدقيقة أكبر مما يمكن أن تحمله من المواد كبيرة الحجم ، بمعنى أن النهر مثلاً يمكن أن يحمل عشر حبيبات وزنها الكلى خمسة كيلو جرامات بسهولة أكثر من

حملها كجلمود واحد بنفس الوزن ، ومعنى ذلك أيضًا أن كفاءة النهر وقوته على نقل حمولته تتوقف على حالة تفتت حمولته .

كذلك يجب أن نميز بين الطريقة التى تتحرك بها جزيئات حمولة القاع منفردة والحركة الكلية لكل أشكال ومكونات القاع من كثبان رملية فيضية أو « نيم القاع ripples » والتى عادة ما ترتبط - أى الحركة الكلية - بسرعة جريان النهر والتى ترتبط بعلاقة طردية مع كمية المواد المحمولة ، فقد حسب بعض العلماء العلاقة بين قوة النقل وسرعة التيار النهرى فوجدوا أن قوة النقل تتناسب (الممثلة بوزن حمولة النهر من الرواسب الظاهرة[1] فى وحدة الحجم من مياه النهر المتحركة) تناسبًا طرديًا مع القوة السادسة لسرعة التيار وفقًا لما يسمى بـ «قانون النقل بالأنهار» law of transportation by streams [2] (حسن وزملاؤه، ص ٣٢١).

وعمومًا ، تنقل حمولة القاع بالتدحرج أو الانزلاق قرب قاع النهر مع زيادة معدلات تحركها أثناء الفيضانات حيث تزداد كفاءة النهر وطاقته وتتحرك بالتالى المفتتات كبيرة الحجم بفعل دفع المياه لها أو بفعل الجاذبية ، وإن كانت الكتل كبيرة الحجم يصعب على مياه النهر دفعها إلا أثناء الفيضانات الاستثنائية .

ومع صعوبة قياس حمولة القاع فقد قامت محاولات عديدة لقياسها وذلك بواسطة مصايد الرواسب كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (٤٥ب) حيث يسمح للرواسب بالتراكم فى حفر غائرة بقاع النهر أو خلف شبكة سلكية بحيث يمكن انتشالها كل فترة محددة والقيام بوزنها ، وتوجد طريقة أخرى لقياس الحركة الصنافية لحمولة القاع[3] .

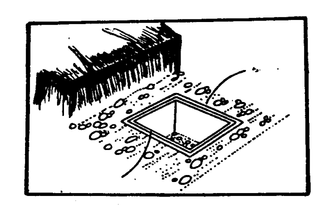
---

(١) يقصد بها كل أنواع الحمولة ما عدا الذائبة .

(٢) يقصد به أنه إذا زادت سرعة النهر إلى الضعف فإن حمولته تتضاعف ٦٤ مرة ، ويأتى من خلال المعادلة التالية . ح = $س^{٦}$

- حيث ح تمثل حمولة النهر ممثلة بالجرام/ لتر المكعب وس = سرعة التيار بالمتر/ ثانية .

(٣) الواقع أن قياس أحجم حبات رواسب قاع النهر أسهل كثيراً من تحديد الكمية الكلية ، وكذلك نجد ان أخذ عينات من مواضع مختلفة على طول قاع النهر يمكننا أن نستنتج منها ما يطرأ من تغير على أحجامها أثناء نقلها باتجاه المصب .



شكل رقم (٤٥ب)

رابعًا ـ حمولة القفز Saltation :

ليس هناك فى الحقيقة فصل واضح بين الحمـولة القافزة وحمولة القاع سابقة الذكر ، وعادة مـا تكون المفتتات القافـزة أصغر حجمـا من مفتتات حـمولة القاع بحيث يؤدى انـدفاعهـا بواسطة المياه إلى رفـعها إلى أعلى داخل كـتلة ميـاه النهر بحيث تسقط على القـاع ثانية لتستمد طاقة من خـلال الاصطدام فيؤدى ذلك إلى تحريكهـا إلى الأمام فى حـركة تشبـه حركات الرمـال القافزة بـفعل الرياح.راجع الشكل رقم (٤٥أ).

الإرساب النهرى Fluvial Deposition

يجنح النهر إلى الإرساب فى حالة قلة مياهه وتناقص سرعته ، بالنسبة لقلة المياه فإنها تحدث عندما يمر النهر بمنطقـة ذات مناخ حار جاف بحيث تتعرض مياهه للتبخر الشديد أو عندما يمر بمنطقة ذات صخور مسامية porous مثل صخور الحجر الجيرى أو الحجر الرملى أو ذات صخور ممرة pervious تكثر بها الشقوق والفجوات مما يؤدى إلى تشرب كميات كبيرة من المياه خلال المسامات أو الشقوق الصخرية .

كذلك قـد تـرجـع قـلـة مـيـاه النـهر إلـى حـلـول فصل الجـفـاف بمنابـعه العليا أو بمنطقة حوضه .

أما بالنسبة لتناقص سـرعة مياه النهر فيحدث ذلك عندمـا يمر مجراه بإحدى البحيرات الواسعة والضحلة أو بإحدى البقاع المائية مما يؤدى إلى انتشار مياهه على

مساحة واسعة مما يؤدى بالتالى إلى تشتتها وضعف سرعة التيار النهرى ومن ثم يجنح النهر إلى ترسيب ما يحمله من مفتتات صخرية ، من الأمثلة على ذلك ما يتعرض له نيل فيكتوريا عندما يعبر بحيرة كيوجا الضحلة من ضعف فى سرعته وانتشار لمياهه على مسطح مائى واسع[1] ،كما تقل سرعة التيار المائى أيضًا عندما يعبر النهر منطقة سهلية متسعة ذات سطح مستو أو قليل الانحدار أو عندما يقترب من مصبه عند شقة مائية بحرية أو بحيرية ضحلة وهادئة ، عندئذ يجنح إلى الإرساب مكونًا دلتا كما سوف يتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

وعادة عندما يقوم النهر بعملية الترسيب فإنه يبدأ بترسيب حمولته الخشنة أولاً تليها الأقل خشونة ثم الناعمة وهكذا ، وهذا ما يميز دائما الرواسب النهرية جيدة التصنيف well sorted deposits سواء كانت هذه الرواسب فى قاع النهر أو على جانبيه [السهل الفيضى وبعض الجزر والجسور الطبيعية natural le-vees التى تحدد القناة المائية مباشرة) ، أو فى منطقة المصب حيث الدالات النهرية بأحجامها وأشكالها المختلفة والتى تتدرج رواسبها من الأخشن عند القمة Delta Apex إلى الأنعم عند قاعدة الدلتا على طول امتداد الساحل الدلتاوى .

ومن الأشكال الرسوبية كذلك المضاحل (رواسب خشنة) بقاع النهر وبعض الأشكال الإرسابية القاعية كالكثبان الفيضية وسفوح الانهيار المنعزلة فى جوانب الثنيات المحدبة وغيرها من تلك الأشكال التى سوف تدرس تفصيلا خلال صفحات هذا الفصل .

---

(١) قد يرجع انخفاض سرعة النهر كذلك إلى تعرض جريانه لعوائق مختلفة مثل الكتل الصخرية أو السدود أو وجود تراكيب جيولوجية بارزة وسط المجرى.

الأشكال الأرضية المرتبطة بتطور الوادى النهرى

عادة ما ينقسم الوادى النهرى من منبعه إلى مصبه إلى ثلاث مراحل أو ثلاثة قطاعات كل منها لها ما يميزها من عمليات وأشكال أرضية .

- القطاع الأعلى (القطاع السيلى) :

يتميز النهر فى هذا القطاع بشدة الانحدار وسيادة عمليات النحت الرأسى vertical erosion على طول امتداد القناة النهرية التى تنحصر داخل وادى ضيق يأخذ مقطعه العرضى شكل حرف V مع شدة انحدار الجانبين نحو قاع النهر الضيق وهو ما يعرف عند Davis, W.M. بالنهر الشاب أو النهر فى مرحلة الشباب youth stage .

- القطاع الأوسط :

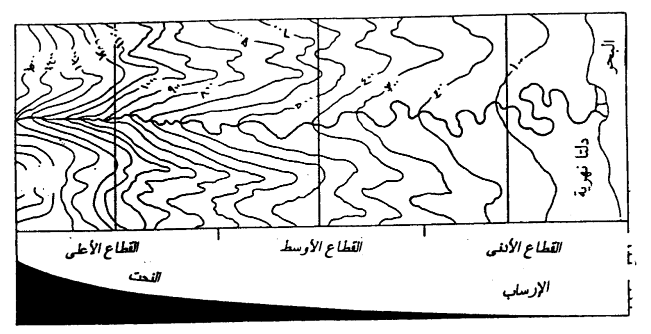
انحداره أقل من القطاع الأعلى - تزداد فعالية النحت الجانبى الذى يكون هنا أكثر وضوحًا وتأثيراً من النحت الرأسى ،يظهر هنا السهل الفيضى flood plain المتسع مع ابتعاد الحافتين وانحدارهما المعتدل نحو قناة النهر ، وهو هنا ـ أى النهر- يعيش مرحلة النضج تبعًا لآراء ديفز (Davis) .

- القطاع الأدنى (السهلى) :

يتميز النهر بانحداره الهين باتجاه المصب مع حدوث نوع من التوازن بين معظم عمليات النحت والإرساب ، ومع ظهور الثنيات meanders وما يرتبط بتطورها من أشكال عديدة .

ويجب أن نأخذ فى الاعتبار دائماً عند دراستنا للأودية النهرية أن المراحل السابق ذكرها ليست صارمة أو واضحة الحدود فيما بينها ولكنها عادة ما تتميز بالتداخل . شكل رقم (٤٦) .

وهناك حد أدنى للنحت والتخفيض بفعل الأنهار يعرف بمستوى القاعدة يتمثل فى مستوى سطح البحر كمستوى عام ورئيسى لمعظم الأنهار الكبرى فى



شكل رقم (٤٦)

العالم ، وقد يتدنى مستوى القاعدة base level إلى ما دون مستوى سطح البحر بكثير مثلما الحال مع البحر الميت (٣٩٠ مترًا تحت سطح البحر) الذى يمثل مستوى قاعدة محلى لنهر الأردن ، كما أن مستوى القاعدة المحلى local base level قد يكون أعلى منسوبًا من مستوى البحر مثلما الوضع فوق الهضاب الداخلية كبحيرة فيكتوريا[1] التى تمثل مستوى قاعدة محلى لعدد كبير من الأنهار مثل الكاجيرا ، وما يعنينا مما سبق أن نعرف أن القطاع الطولى للنهر يرتبط بمستوى قاعدة معين، وأن أى تغير نسبى فى هذا المستوى سوف يعقبه تعديل فى شكل هذا القطاع .

وجدير بالذكر هنا أن البحيرات الصغيرة أو مكاشف الطبقات الصلبة التى قد تظهر فى مواضع مختلفة على طول مجرى النهر قد تقوم بدور مستوى القاعدة بحيث لا يمكن للنهر فى هذه المواضع أن ينحت دون مستواها .

(١) تبلغ مساحتها ٦٨,٨٠٠ كيلو متر مربع ويصل ارتفاعها إلى ١١٣٣ فوق مستوى سطح البحر ومتوسط عمقها ٤٠ مترًا وهى بذلك ثانى بحيرة عذبة فى العالم من حيث المساحة بعد بحيرة سوبيريور.

ورغم تركيز الدراسات الجيومورفولوجية على الدور الكبير للعمليات فى تشكيل الملامح الأرضية إلا أنه نظراً لتعقيد البنية الصخرية بسبب مكوناتها الفيزيائية والكيماوية شديدة التباين وتاريخها الجيولوجى الطويل الذى أدى إلى تعقيدها البالغ - فكان لابد أن نضع فى الحسبان دائمًا أهمية عامل الزمن time factor عند دراستنا لأية ظاهرة أو شكل أرضى حيث إن أية عملية تتم فوق بنية صخرية سوف تنتج أشكالاً مورفولوجية متباينة فى عمرها الجيولوجى ، وقد أدرك Davis. W.M أواخر القرن التاسع عشر أهمية عامل الزمن فكان اقتراحه لنموذجه الذى أظهر من خلاله تطور الأشكال الأرضية فى مراحل ثلاث أطلق عليها: الشباب والنضج والشيخوخة وهى ما تكاد تطابق القطاعات النهرية فى المنبع والوسط وفى جزئه الأدنى. ويوضح الشكل رقم (٤٧) مراحل تطور الأشكال الأرضية وفقًا لدورة التعرية الديفزية Davisian Erosion Cycle التى رغم قدمها إلا أنها ما زالت قوية وذات تأثير كبير على الفكر الجيومورفولوجى الحديث[1] .

أولاً ـ مرحلة الشباب [خصائصها وأهم الأشكال الأرضية المرتبطة بها] :

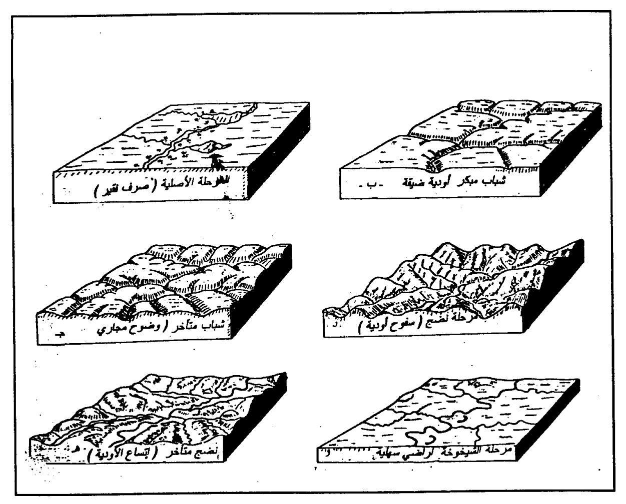
تظهر ملامح وأشكال عديدة تميز تلك المرحلة فى المجرى الأعلى للنهر the upper course [2] حيث تسود عمليات النحت والانهيارات الأرضية ، ورغم أن القنوات المائية تحتل مساحة محدودة من جملة مساحة حوض التصريف النهرى - تتراوح ما بين ٢-٥٪ - إلا أن خصائص هذه القنوات وما يسودها من عمليات تعرية تنعكس بشكل كبير على ملامح التضاريس داخل الحوض النهرى (صبرى والشريعى ، ص ١١٤) .

ويمكننا فيما يلى أن نوجز أهم الخصائص المميزة لهذه المرحلة من مراحل تطور الأنهار :

---

(١) لقد هوجمت المفاهيم الديفزية للتطور الجيومورفولوجى كثيراً فى السنوات الأخيرة وخاصة فيما يختص بما ذكره عن حدوث حركات أرضية مفاجئة كونت السطح الأولى initial suface الذى بدأت عليه العمليات الجيومورفولوجية وفقًا لآراء ديفز.

(٢) يتميز هذا القطاع من النهر بحدوث احتكاك مباشر بين السفوح التى تحده والعمليات السائدة بالقناة المائية.



شكل رقم (٤٧)

أ ـ يأخـذ القطاع الـنهـرى (المقطع العـرضى) فى أغـلب الأحـوال شكل حرف٧ حيث تسـود فى هذه المرحلة عمليات النحت الرأسى وتتفوق بشكل كـبير على عمليـات النحت الجانبى lateral erosion ، ومن ثم يكاد يختـفى قـاع القناة المائية وإن وجد فإنه يكون ضيقًا جدًا، كما تنحدر الحافات الجانبية نحو قاع الوادى انحدارًا شـديدًا ينعكس ذلك بوضوح على ضـيق المسافات الكنـتورية بين خطوط الكنتور التى تحدد المجرى وتحـده من الجانبين وكثيرًا ما نجدها تتلاحم نتـيجة لشدة الانحدار وخاصة فى القطاعات الخانقية منها.

ب - يتميز القطاع الطولى للنهر بشدة انحداره، يظهر ذلك بوضوح من الخريطة الكنتورية من خلال التراجع الواضح لخطوط الكنتور نحو أعالى النهر، مع اقترابها من بعضها البعض على طول امتداد المجرى وتلاحمها فى بعض المواضع، حيث توجد نقط التجديد knick points مكونة مساقط مائية water falls (شلالات)، ويمكننا بسهولة معرفة معدل انحدار النهر هنا وذلك من خلال تحديد الطول بواسطة عجلة القياس من المنبع إلى نهاية القطاع وقسمة الفارق فى المنسوب على طول هذه المسافة، كما يمكننا إبراز شدة الانحدار من خلال عمل قطاع طولى للنهر longitudinal profile من الخريطة الكنتورية.

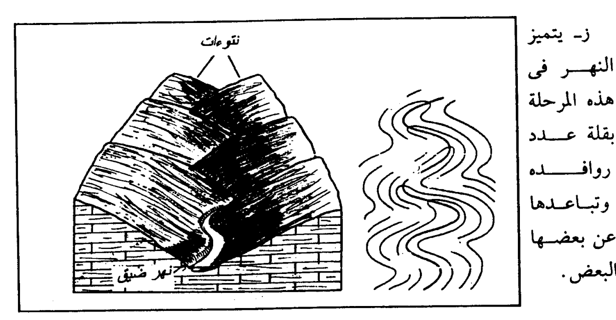
جـ - عادة ما يختفى السهل الفيضى فى هذه المرحلة وإن وجد فإنه يكون ضيقًا للغاية أو فى شكل جيوب منعزلة isolated gaps يمكن أن تظهر فى الخريطة الكنتورية ،يرجع ذلك بطبيعة الحال إلى سيادة عمليات النحت الرأسى.

د - يظهر النهر مستقيمًا فى معظم امتداده دون تعرج وإن وجدت تعرجات bendings فإنها تكون خفيفة غير واضحة وقد تكون فى شكل ثنيات متعمقة -in incised meanders فى صخور الأساس (الأديم) bed rocks مما ينعكس على وجود النتوءات المتعمقة المتداخلة والتى تطل جوانبها على النهر بانحدارات شديدة وذلك بسبب تعمق النهر فى واديه من خلال عمليات النحت الرأسى ودورانه حول الانحناءة concave bank of the bend مما يؤدى فى النهاية إلى ظهور نتوءات على جانبى الوادى كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٤٨) وتبدو الجوانب المقعرة من الانحناءة فى شكل جروف نهرية ، بينما يكاد النحت يختفى من الجوانب المحدبة ويسود إرساب محدود فى هذه المرحلة مكونًا للجيوب الفيضية سابقة الذكر.

هـ - تظهر كثير من العقبات فى مواضع الصخور الصلبة التى يمر بها النهر خلال جريانه وذلك فى شكل عقبات جندلية أو فى شكل مساقط مائية يختلف الانحدار على جانبيها اختلافًا كبيرًا ومن ثم تظهر - كما ذكرنا من قبل - فى شكل تلاحم كنتورين أو أكثر فى مواضع معينة من مجرى النهر.

و - تظهر أراضى ما بين الأودية interfluves areas ـــ رغم مظاهر الشباب العادية - فى شكل أراضى منخفضة تظهر فوقها السبخات والمناقع المائية، يرجع ذلك بطبيعة الحال إلى عدم تعميق النهر لمجراه بالدرجة التى تظهر ما حوله من ارتفاعات ومظاهر تضاريسية.

ز- يتميز النهـــر فى هذه المرحلة بقلة عـــدد روافـــــده وتبـاعـدها عن بعضــها البعض.



شكل رقم (٤٨)

وفيمـا يلى دراسة تفصيلية لأهم الأشكال الأرضيـة المرتبطة بالنحت النهرى فى هذه المرحلة المبكرة من مراحل تطوره.

- الجنادل والمسارع Cataracts and Rapids :

تظهر الجـنادل حينما يشـتد انحـدار النهر بشكل فـجائى على طول امـتداد مجراه.

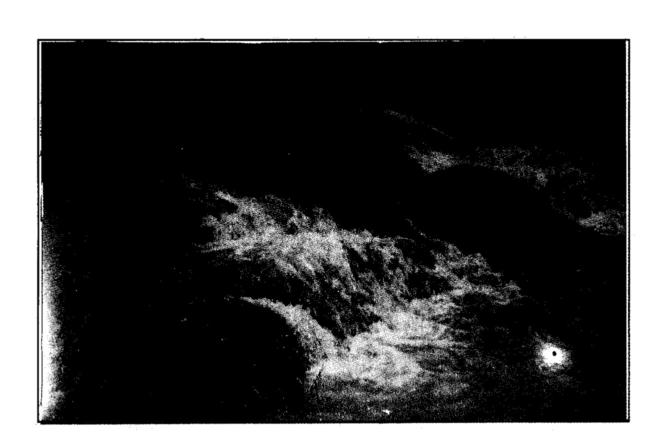
وتنقسم الجنادل من حيث أسبابها إلى نوعين :

النوع الأول - ويرجع إلى التباين فى درجة صلابة الصخور rock hardness التى يـقـطعـها المجـرى النـهـرى وتـظهر هنـا عنـدمـا توجد طبـقـة من الصــخور الصلبة – التى تقـاوم عمليات التعرية المائيـة - عبر مجرى القـناة المائية بارزة فوق مسـتـوى قاع النهر بحيث يتغـير عندها الانحدار، حيث تتآكـل الصخور اللينة فى الجانب المواجه للمصب بمعدلات أسرع من الجانب الآخر.

النوع الثانى - تظهر فيــه الجنادل فى شكل صخور صلبة ناتئـة وسط مجرى النهر وقد تظهـر وسط مجرى النهر كـجزيرات بارزة غالبًا ما تـكون من الصخور النارية. وقد تكون نشأتها الأولى عبارة عن حاجز صخرى dyke أو «جدة غائرة» sill من الصـخور النارية المتـداخلة، مثلمـا الحال مع الجندل الأول جنوب مـدينة أسوان حـيث تظهر فى شكل جـزيرات عديدة مـثل الهيـسا وهى البداية الجـنوبية

للجندل وسلوجة وأنس الوجود وغيرها[1] من الجزر التى تتكون من صخور الجرانيت الخشن، ومن الجنادل الأخرى «ريبون» عند مخرج نيل فيكتوريا من البحيرة بأوغندا وجنادل فولا فى بحر الجبل وجنادل ساوفرنسيسكو بالبرازيل وجنادل خانق سبلوجة شمال مدينة الخرطوم بـ ٦٠ كيلومتر تقريبًا.

وعندما يكثر عدد الجزر الجندلية فى موضع معين بقاع مجرى النهر فإن ذلك يؤدى إلى زيادة فى سرعة التيار المائى للنهر وتفرعه فى شكل تيارات متدفقة بين الجزيرات الصخرية (الجنادل) فى ظاهرة تعرف بالمسارع أو المندفعات rapids[1] كما يتضح ذلك من الصور رقم (١٥).



صورة رقم (١٥)

(١) قد تم بناء خزان أسوان (جسم السد) فوق أربع جزر جرانيتية جندلية تقسم مجرى النهر فى هذا الموضع إلى خمسة ممرات مائية.

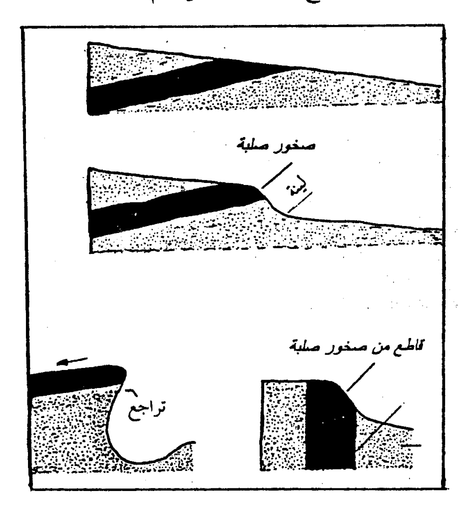
(٢) وقد تتكون المسارع أيضًا عندما يتحول الصخر الصلب فى مسقط المياه إلى منحدر طويل شديد الانحدار فى هذه الحالة فإن المياه تندفع فوقه وتجرى سريعة جدًا وهنا يتحول المسقط المائى إلى مسرع.

المساقط المائية (الشلالات) Water Falls :

تمثل المساقط المائية فى الواقع مواضع فى مجرى النهر يشتد عندها الانحدار وتزداد سرعة تيار الماء وتزداد بالتالى قدرته على النحت فى صخور القاع وفى الصخور المكونة لإقدام الشلال حيث تسود هنا عملية النحت التراجعى (الصاعد) باتجاه أعالى النهر.

وترجع الشلالات فى نشأتها إلى عدة عوامل بنائية وتكتونية أو تضاريسية يمكن إيجازها فيما يلى :

١ ـ امتداد حواجز صخرية صلبة قد تظهر مرتكزة فى وضع أفقى أو مائل قليلاً تجاه أعالى النهر فوق صخور لينة (هشة) friable ومن ثم تزداد فعالية النحت فى الصخور الأخيرة بالمقارنة بنحتها للصخور الصلبة بحيث تنحدر مياه النهر فوقها فى شكل مسقط مائى كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٤٩).



شكل رقم (٤٩)

وأفضل مثال على هذا النوع من المساقط المائيــة شلالات نياجارا على مجرى نهر سانت لورنس فى قطاعه الممتد ما بين بحيرتى إيرى وأونتاريو.

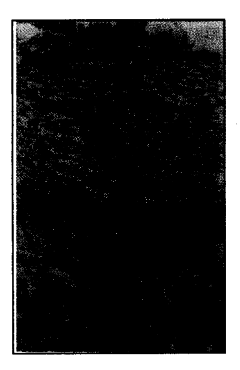
٢ ـ إذا هبط نهر من حافة هضبة مرتفعــة باتجاه أراضى سهلية منخفضة فهنا تظهر المساقط المــائية مثل مجمــوعة المساقط المائية التى توجد عــلى نهر زائير الذى ينحدر من هضــبة مرتفــعة نحو ســاحل المحيط الأطلنطى ويبلغ عــدد هذه المساقط المائية ٣٢ مــسقطًا. كذلك شــلالات أغورابى على نهر الأورنج فى هضــبة جنوب إفريقيا. وفى الولايات المتحدة الأمريكية تــوجد أعداد كبيرة من المساقط المائية على مجارى الأودية المنحدرة بطول خط السقوط fall line الفاصل بين السفوح الشرقية للحافة الأبلاشية (بلوردج) ومنطقة البدمنت المؤدية إلى سهول الأطلنطى.

٣ ـ تظهر المساقط المائــية فى مناطق الصدوع faults وذلك عندما يعبر النهر منطقة صدعية تعترض مجراه فتتجه مياهه للانحدار من الرمية العلوية للصدع باتجاه الرميــة السفلية ، ومن أمــثلة ذلك شلالات فيكتوريا عــلى نهر الزمبيــزى، حيث يجرى النهر فوق هضبة تقطعها مجموعة من الصدوع راجع الشكل رقم (٤٩).

٤ ـ تظهر المساقط المائية أيضًا فى المناطق التى تعرضت للتعرية الجليدية ـ فى مرحلة سابقة، حيث تمثل مصبات الأودية المعلقة hanging valleys (روافد الوادى الجليــدى) شلالات مــائية وذلــك عندما ينصــهر الجــليد،ويرجع ذلك إلى ارتفــاع مناسيب قيعان هذه الروافد بالمقــارنة بقاع النهر الرئيسى (الوادى الجليدى)؛ ولذلك كثيرًا ما نجد مثل هذه الأنواع من الشلالات منتشرة فى مرتفعات إسكندنافيا وجبال الألب الأوروبية وغرب كندا وشمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية.

٥ ـ تظهر الشــلالات أحيانًــا فى المناطق التى تتعرض فــيهــا الأودية النهرية لطفوح لافــية تعترض طريقــها، كما أنها قــد تتسبب أيضًا عــن حدوث انزلاقات أرضية.

وتوضح الصورة التالية رقم (١٦) نموذجا لشلال دقيق على جانب وادى أبها يمكن أن تستــدل منها على المجرى المائى من لون قاعــه وعملية التقويــض السفلية والتراجع جهة منبع هذا الرافد الصغير (الجدول المائى).



صورة رقم (١٦ أ)
شلال دقيق على جانب
وادى أبها مع حدوث
تراجع خلفى موضعى
فى الحافة



صورة رقم (١٦ ب)
ثنية نهرية
بنهر جريبول

ـ الحفر الوعائية Pot Holes :

تعرف أحـيانًا بالحـفر المستـديرة وهى عبـارة عن حفر تتكون فـى قاع القناة النهرية وعادة ما تمتلئ بالمفتتات الصخرية، وعندما يمر فوقها الماء يتشكل فى صورة

دوامات eddies تؤدى إلى تحرك المياه وما بها من حصى ومفتتات صخرية فى حركات دورانية داخل الحفرة مما يؤدى إلى زيادة تعميقها واتساعها واتصال أكثر من حفرة ببعضها البعض مما يؤدى فى النهاية إلى زيادة تعميق المجرى وتعد بالتالى إحدى العمليات التى يقوم بها النهر لزيادة عمقه كما ذكرنا من قبل.

وبالنسبة للنشأة الأولى للحفر الوعائية فيرى البعض بأنها تنتج عن وجود شقوق cracks وفواصل صخرية فى قاع القناة النهرية يعمل اندفاع المياه داخلها وضغطها على جوانبها إلى زيادة اتساعها وتكوين دوامات دورانية للماء أكبر حجمًا فيعمل بما يتسلح به من حصى ومفتتات على توسيعها بالكيفية التى ذكرناها آنفًا. وعادة ما ترتبط هذه العملية وهذا الملمح الجيومورفولوجى الغارق بزيادة طاقة النهر وقدرته على النحت الرأسى من خلال تياره الدوامى المضطرب الذى يميز مرحلة الشباب[1] (راجع شكل رقم ٤٤).

ـ ثنيات الشباب والنتوءات المتداخلة Interlocking Spurs :

عندما يزداد عمق النهر بشكل سريع نتيجة لعمليات النحت الرأسى النشط فإن النهر يتلوى ويدور حول العقبات (الصخور الصلبة) ويسود النحت على الجوانب المقعرة من الانحناءات concave side of bends ينتهى الأمر بتكون نتوءات أو بروزات spurs تتعاقب على كلا جانبى المجرى فى شكل متداخل غالبًا ما تظهر الجوانب المقعرة ـ المقوضة تقويضًا سفليًا ـ كجروف نهرية river cliffs ، بينما يظهر على الجانب الآخر المحدب convex الذى لا يتعرض للنحت سفوح إرسابية منخفضة تعرف بالسفوح المستقرة أو الثابتة.

ثانيًا ـ الوادى النهرى فى مرحلة النضج Maturity Stage :

يتميز الوادى النهرى بمجموعة من الخصائص فى هذه المرحلة يمكننا تلخيصها فيما يلى :

---

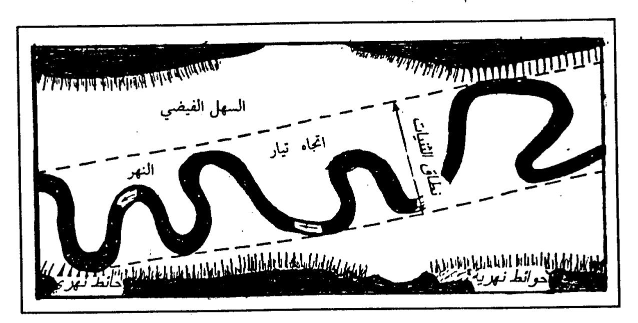
(١) أحيانًا ما تظهر الحفر الوعائية فى الصخور الصلبة النارية والمتحولة مثلما الحال فى قاع نهر جيمس بولاية فرجينيا الأمريكية، وقد سجل المؤلف كثيرًا من هذه الحفر فى قاع وادى أبها بمرتفعات عسير بالسعودية . كذلك قد تظهر حفر وعائية فى مواضع الضعف ببعض الأرصفة الشاطئية نتيجة للحت الموجى.

- يأخذ القطاع العرض للوادى حرف V المفتوح وذلك بسبب وضوح عمليات النحت الجانبى فى هذه المرحلة من مراحل تطور النهر.

- يقل الانحدار على امتداد القطاع الطولى للنهر [الوادى والقناة المائية] كما يقل انحدار الجانبين باتجاه قاع النهر.

- تظهر الثنيات meanders بشكل واضح حيث تبدو الجوانب المقعرة فى شكل حوائط نهرية ، أما الجوانب المحدبة فتكون هينة الانحدار فى شكل سفوح إرسابية متوازنة نسبيًا وبعيدة عن عمليات النحر النهرى.

- ينطبق نطاق الثنيات meander belt تقريبًا مع حدود الوادى كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (٥٠).



شكل رقم (٥٠)

- تتراجع النتوءات التى تميز مرحلة الشباب وذلك بسبب نشاط النحت الجانبى المتزايد والذى يعمل على تخفيضها بحيث تبدو بقاياها فى شكل خط من الحوائط على جانبى النهر تمثل البقية المتبقية من تراجع الحافات الجانبية. كما قد تجد الجسور الطبيعية جوانب القناة المائية والتى تكونت أساسًا بفعل عمليات الترسيب للمواد الخشنة قرب المجرى وخاصة أثناء الفيضان[١] .

(١) سوف نتناولها بالدراسة التحليلية فيما بعد.

ـ تختفى الجنادل والمساقط المائية من مجرى النهر تمامًا،حيث إن النهر فى هذه المرحلة قد عمل على إزالة كل العقبات من مجراه تمهيدًا للوصول إلى التوازن أو التعادل الذى تتجه إليه الأنهار بمعدلات متباينة السرعة.

ـ تظهر أراضى ما بين الأودية interfluves areas وتبرز مرتفعة فوق المنسوب العام لمنطقة الحوض النهرى ويرجع ذلك إلى وضوح القنوات المائية ذاتها بفعل زيادة أثر النحت الرأسى والجانبى على طول امتداداتها بحيث تبدو أراضى ما بين الأودية فى صورة تلال أو أراضى منحدرة.

ـ تطور شبكة كثيفة من رتب التصريف النهرى داخل الحوض النهرى.

ـ تظهر على جوانب بعض الأنهار مدرجات terraces أرضية ترتفع عن منسوب السهل الفيضى الحالى للنهر قد تكون بسبب وجود طبقات صلبة استطاعت مقاومة عمليات النحت النهرى ، أو قد تكون عبارة عن سهول فيضية قديمة تركها النهر إلى منسوب أقل بسبب تغير مستوى القاعدة أو بسبب تغيرات مناخية كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد (راجع الشكل رقم ٥٠) .

ثالثًا ـ النهر وواديه فى مرحلة الشيخوخة Old Stage :

يتميز النهر فى هذه المرحلة الأخيرة من مراحل تطوره بمجموعة من الخصائص يتمثل أهمها فيما يلى :

ـ يتميز الوادى باتساعه بعد التراجع الواضح لحافاته، كما تتسع القناة المائية وتأخذ شكل حرف U المفتوح .

ـ يقل انحدار القطاع الطولى للوادى مع اتساع واستواء قاع القناة المائية وتختفى منه تمامًا الحفر الوعائية وعادة ما يغطى بالرواسب.

ـ تغطى الرواسب قاع الوادى مكونة سهلاً فيضيا واسعًا غالبًا ما تكثر به المستنقعات والسبخات.

ـ تظهر بوضوح ظاهرة الثنيات مع كل ما يرتبط بتطورها من ملامح وأشكال أرضية مثل البحيرات المقتطعة oxbow lakes وعلامات الثنية والجزر الطينية التى تكثر بالقناة النهرية وغير ذلك الكثير.

ـ يرتبط بوضوح الثنيات التـعرج الشديد للنهر وسط سهله الفـيضى المتسع وهجرته لمجراه باتجاه المصب فى كثير من قطاعاته مع اختفاء العديد من روافده.

ـ تتميز منطقة ما بين الأودية باستوائها وانخـفاضها باستثناء بقايا تحاتية تبدو فى شكل تلال منعزلة monadnocks كما تظهر بها السبخات والمستنقعات.

ـ يبنى النهر فى المراحل الأخيرة من تطوره قاعـه وجوانبه من خلال رواسبه حيث تظهر على جـانبى القناة المائية الجسور الطبيعـية المكونة من الرواسب الخشنة بحيث يمكن تحديدها بسهولة من الخريطة الكنتورية.

ـ غالبًا ما ينتهى النهر عند مصبه بتراكمات رسوبية جيدة التصنيف فى شكل دلتـا نهرية تأخـذ أبعادًا وأشـكالاً مخـتلفة مـرتبطة فى ذلك بخـصائص حـوض التصـريف النهـرى وطبيعـة الشقـة المائية التى تـكونت على حسـابها وخـصائص العمليات البحرية السائدة وحجم الحبيبات التى تتكون منها.

اشكال تعرية (ناتجة عن النحت والإرساب) تميز النهر فى مرحلتى النضج والشيخوخة

[معالجة تفصيلية]

أ ـ الثنيات أو المنعطفات النهرية	River Meanders
ب ـ السهل الفيضى	Flood Plain
جـ ـ الثنيات المتعمقة	Incised Meanders
د ـ المدرجات النهرية	River Terraces
هـ ـ القناة المضفرة	
و ـ الدالات النهرية	River Deltas

١. المنعطفات النهرية

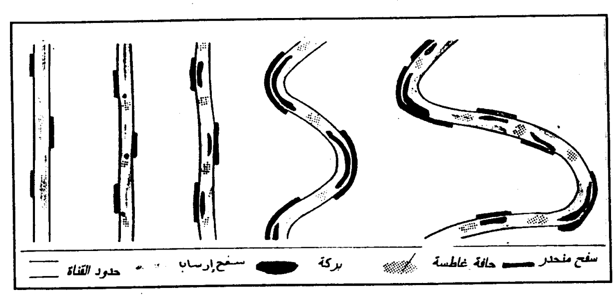
تعد القناة النهرية المنثنية (كثيرة الانعطاف) نمطًا من أنماط القنوات النهرية التى تميز النهر فى مرحلتى النضج والشيخوخة.

ومن المعروف أن القنوات الفيضية تتكون من مواد صخرية مفتتة بفعل عمليات التجوية والنحت وقد تتكون من مواد خشنة غير متماسكة مثل الرمل والحصباء والحصى، وقد تتكون من رواسب ناعمة متماسكة مع نسبة زائدة من الصلصال والغرين، وغالبًا ما تظهر القنوات النهرية المكونة من الرواسب والمواد الخشنة فى العروض العليا التى تعرضت للتعرية الجليدية glaciation ، بينما تظهر التكوينات الناعمة مكونة لقيعان القنوات النهرية وجوانبها فى العروض الرطبة المدارية والمعتدلة.

والواقع أن طبيعة التكوينات الصخرية من حيث الحجم ودرجة التماسك ذات أهمية كبيرة فى تحديد خصائص القناة النهرية، فعلى سبيل المثال نجد أن التكوينات الخشنة غير المتماسكة تتعرض للانهيارات بفعل التقويض السفلى للمياه بمعدل أسرع بكثير من التكوينات الناعمة المتماسكة التى تقاوم عادة عمليات الانهيارات الجانبية وتبدو فى كثير من الأحوال فى شكل حوائط رأسية قد تتعرض فقط لعمليات انزلاق وانهيار القمم (الانقلاب الصخرى) toppling failure فى حالة تشبعها بالمياه.

وترتبط القنوات النهـرية المنعطفـة meandering streams بانحدار مـعتدل وجوانب مكونة من رواسب نـاعمة (غرين وطـين) متماسـكة مع تكون القاع من رواسب غيـر متماسكـة مـن رمـال وحصـى مـتحركة مع تميـز الجوانـب بانحدارها الشديـد (Knapp. B,etal 1989,p) وتظهر بقـاع القناة النهرية حافات منخـفضة riffles[1] تتكون من رواسب خشنة ترتبط عادة بقطاع القناة النهرية المستقيم والأكثر انحدارًا مقارنة بالقطاعات التى تظهر بهـا برك ، وهذه الأخيرة تفصل بين الحافات المنخفضة سابقة الذكر وتتميز قيعانـها بوجود كثبان وتموجات رملية وعادة ما تتميز هذه البرك أيضًا باقترابها من الجانب المقعر من الثنية .

ويوضح الشكل التـالى رقم (٥١) الخـصائص التى تميـز النهـر المتعـرج مع مراحل تطوره من نهر مستقيم إلى نهر منعطف .



شكل رقم (٥١)

أ ـ المرحلة الأولى: عبارة عن قناة مسـتقيمة تختفى منها الحـافات المنخفضة riffler والبرك pools مع وجود مضاحل غير منتظمة بالقاع .

ب ـ المرحلة الثـانية: تظهر بالقنـاة برك أولية محـدودة المساحة مع حـافات حـصـويـة منـخـفضـة تتبـاعـد عن بعضها البـعض بمسافات تتـراوح ما بين ثلاث وخمس مـرات قدر اتساع القناة النـهرية ويتمـيز قاع القناة بوجـود مضاحل غـير منتظمة الشكل .

---

(١) تتباعد هذه الحافات عن بعضها البعض بمسافات تتراوح ما بين ٥ و ٧ مرات قدر اتساع القناة النهرية .

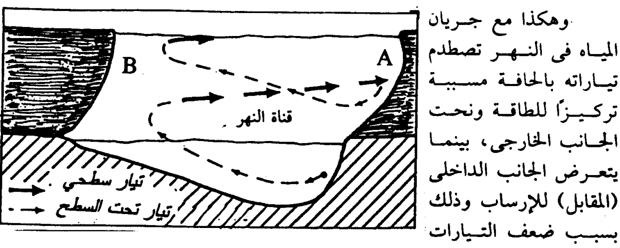
جـ - **المرحلة الثالثة:** تتكون فى القناة النهرية البرك والحافات الرسوبية جيدة التطور متباعدة عن بعضها البعض بمسافات تتراوح ما بين ٥ و ٧ مرات قدر اتساع القناة مع وجود مضاحل غير منتظمة.

د - **المرحلة الرابعة:** تطور جيد للبرك والحافات المنحدرة على مسافات تتراوح بين ٥ و ٧ مرات قدر اتساع القناة.

هـ - يظهر بقاع القناة النهرية خليط من البرك المتطورة والحافات المنحدرة مع برك وحافات أولية وتظهر هناك البرك أكثر طولاً بكثير من الحافات المنحدرة مع المضاحل غير المنتظمة.

وعودة إلى كيفية نشأة هذه الثنيات نجد أنها بشكل عام تتطور عن قناة نهرية مستقيمة، ورغم وجودها - أى الثنيات - فى كل مراحل التعرية النهرية إلا أن ما نعنيه هنا هى تلك التعرجات التى يشكلها النهر من خلال عمليات النحت والإرساب التى يقوم بها داخل سهله الفيضى الذى تكون واكتمل تكونه تمامًا فى مرحلتى النضج والشيخوخة.

وتتكون الثنية النهرية بداية من خلال تولد تيارات مائية دورانية تؤدى إلى النحت عندما تلتقى قرب الجانب الخارجى للثنية ، بينما تسبب الإرساب عند مواضع الافتراق بالجانب المحدب من الثنية (الجانب الداخلى) كما يظهر ذلك من الشكل (٥٢) الذى يبين الاتجاه الطبيعى للتيارات الثانوية العرضية cross currents التى تؤدى إلى تطور شكل القناة المائية وتكوين الثنيات (لاحظ التقاء التيارات عند A وتفرقها عند B).

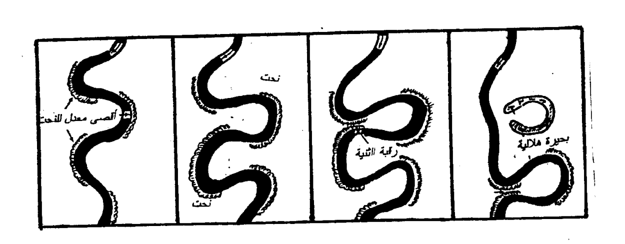


شكل رقم (٥٢)

وهكذا مع جريان المياه فى النهر تصطدم تياراته بالحافة مسببة تركيزًا للطاقة ونحت الجانب الخارجى، بينما يتعرض الجانب الداخلى (المقابل) للإرساب وذلك بسبب ضعف التيارات المفترقة عنده.

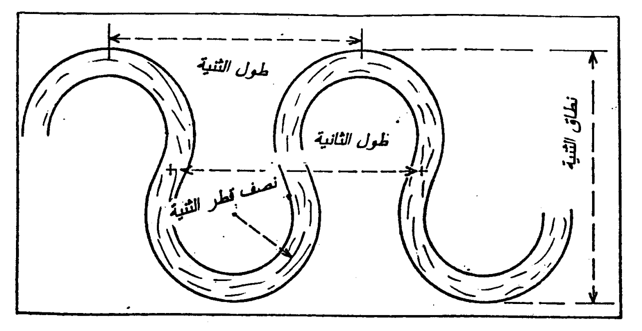
وبشكل عام فإن النهر فى تكوينه للثنيات يبدو متقدمًا باتجاه المصب فى حركة حلزونية cork sckrew like motion (Newson. M,and Hanwell. J,P141) ومع زيادة سرعة الجريان يتم نحت الجانب الخارجى للثنية بمعدل أكبر وأسرع، بينما يتم ترسيب ما تم نحته من مفتتات على الجانب الداخلى المحدب من الثنية.

ويوضح الشكل التـالى رقم (٥٣) مـراحل تطـور الثنيـات النهـرية وتكوين الأشكال المرتبطة بها وذلك من خلال النحت الجانبى الذى يؤدى إلى هجرة الثنيات باتجاه المصب ويقـوم بدور كبيـر بالتالى فى توسيع الوادى النهـرى وإزالة النتوءات وغيرها من العقبات بحيث يصبح النـهر حرًا فى حركته داخل سهله الفضى وإبراز العديد من الملامح الدقـيقة minor features المرتبطة بتطور الثنيات مثل الـبحيرات الهلالية والجروف المقطوعة على الجانب الخارجى من الثنية.



شكل رقم (٥٣)

ويوضح الشكل السابق (أ) المواضع من الثنية التى تتركز فيها طاقة النهر على النحت ويبـين (ب) وضـوح الثنـيات مع اتـساع نـطاقـات النحت على الجـوانب الخارجية للثنيات ويوضح (جـ) من الـشكل السابق رقبة الثنية meander neck بعد اقتطاعها نتيجة للنحت الزائد لينتهى الأمـر بـ (د) حيث تظهر البحيرة الهلالية التى تتعرض للإطماء silting up بصورة تدريجية مع ظهور رقبة ثنية أخرى إلى الجنوب منها راجع الشكل رقم (٥٤) الذى يبين بعض العناصر الهندسية للثنيات النهرية.



شكل رقم (٥٤)

ب. السهل الفيضى Flood Plain

يوضح الشكل رقم (٥٥) العلاقـة بين تطور الثنيات وتكون السهل الفـيضى حيث ينتج عن زيادة حجم الثنيـات وهجرتها التدريجية تناقص النـتوءات وتحويلها فى البـداية إلى أشكال مـسننات cuspate forms إلى أن تخـتفى فى نهـاية الأمر مكونة السـهل الفيضى الـذى يجرى خلاله النهـر دون وجود أية عـقبـات تذكر (Sawyer,k., p21)

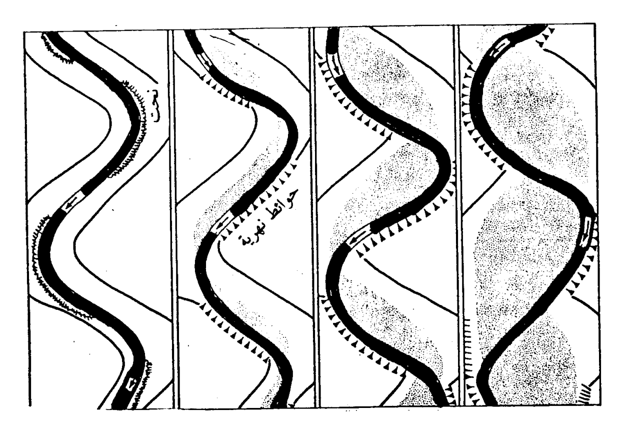
فيتضح من الشكل رقم (٥٥):

أ ـ انحناء النهر بين نتوءات متداخلة مع تركيز النحت على الجوانب الخارجية لعلامة الانحناءة.

ب ـ بداية النحت النهرى فى النتوءات مكونًا جروفًا نهرية مع الترسيب على الجانب الداخلى من الانحناءة.

جـ ـ تبدو الانحناءات أكثر وضوحًا مع حدوث تناقص فى النتوءات وتحويلها إلى مسننات وزيادة فى حركة وهجرة الثنيات باتجاه المصب downstream .

د ـ إزالة النتـوءات بشكل كـبيـر، وتكون سـهل فـيضى مـتـسع مع نحت وتخفيض للجروف النهرية القديمة.



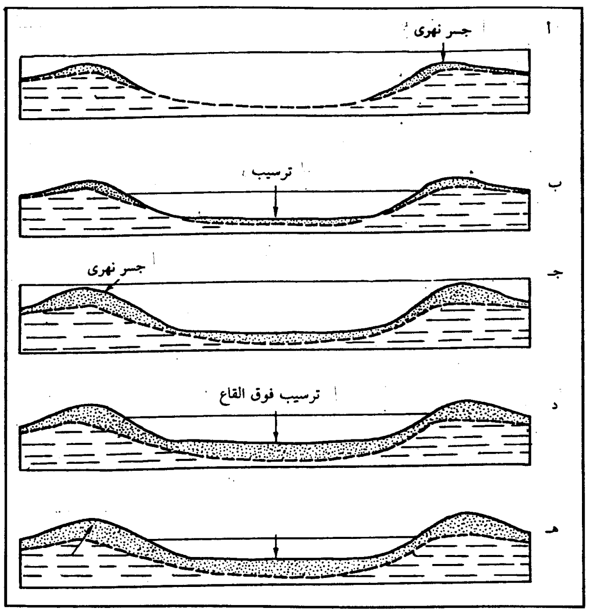
شكل رقم (٥٥)

هكذا يستقبل السهل الفيضى رواسبه من خلال الهجرة المستمرة للثنيات وهذه العملية تتم فى مرحلة النضج وتستمر حتى مرحلة الشيخوخة، وعندما تطغى مياه النهر على السهل الفيضى خلال فترات حدوث الفيضان تترسب فوقه تكوينات من الغرين والطين، وتعد هذه المرحلة بمثابة المرحلة النهائية لتكوين السهل الفيضى وتستمر معها الهجرة الدائمة للمنعطفات (الثنيات) والتى عادة ما تتجه نحو المصب ومع تحركها تتكون مدرجات بالسهل الفيضى كما سوف يتضح خلال هذا الفصل.

الجسور الطبيعية Natural Levees :

تبدو فى شكل جوانب مرتفعة تحيط بالقناة النهرية، وقد نتجت عن عمليات ترسيب نشطة يقوم بها النهر عادة فى مرحلة الشيخوخة، ونظرًا لارتفاعها قليلاً عن منسوب السهل الفيضى فإنها تقوم بعمل حماية طبيعية له وخاصة أثناء فترات الفيضانات وهى بذلك تعد ذات أهمية قصوى بالنسبة للسهول الفيضية لكثير من الأنهار الكبرى فى العالم.

ويبين الشكل التالى رقم (٥٦) كيفية تكون الجسور الطبيعية وعلاقتها برفع قاع النهر بفعل عمليات الترسيب.



شكل رقم (٥٦)

أ - يتم ترسيب نشط على طول جانبى القناة النهرية القديمة أثناء حدوث الفيضان، ومع استمرار حدوث ذلك الترسيب وخاصة المواد الخشنة قرب القناة النهرية مباشرة فإن ذلك يؤدى إلى زيادة ارتفاعها فيما يعرف بالجسور الطبيعية.

ب - فى أثناء فترة الجريان العادى للنهر - فترة ما دون الفيضان - يتم الترسيب فى قاع النهر ومن ثم يرتفع منسوبه - منسوب القاع -.

جـ - مع فيضان النهر وارتفاع منسوبه فوق مستوى الجسور الطبيعية تنساب مياهه باتجاه السهل الفيضى على كلا الجانبين، ومع وجود روافد للنهر فإنها فى

هذه الحالة يصعب عليها الالتقاء بالنهر ومن ثم تتجه للجريان فى موازاة النهر الرئيسى لبضعة كيلومترات (Bunnett, R.B, 1965, p61) تحيط به كثير من المستنقعات وتبدو منعطفة داخل السهل الفضى.

د - انتهاء الفيضان وجريان عادى للنهر يلاحظ ارتفاع قاع النهر مع زيادة عمليات الترسيب خلال الفترة الحالية من الفيضان.

جـ- المدرجات النهرية River Terraces

المدرجات النهرية فى أغلبها بقايا لسهول فيضية سابقة لتكون السهل الفيضى الحالى للنهر، عادة ما تظهر على جانبى القناة المائية وقد نتجت أساسًا بسبب حدوث تغيرات فى مستوى القاعدة - الذى لا يمكن للنهر أن ينحت إلى مستوى أقل منه - أو قد تنتج بسبب حدوث تغيرات مناخية شهدتها المنطقة التى يجرى خلالها النهر.

بالنسبة لما يرتبط بتغير مستوى القاعدة يتمثل فى حدوث انخفاض لمستوى القاعدة الذى يصل إليه النهر مما يؤدى إلى زيادة طاقته وقدرته على النحت وذلك بهدف الوصول إلى مستوى القاعدة الجديد تاركًا سهله الفيضى القديم فى شكل «درج» مرتفع يتناسب ارتفاعه مع معدل الانخفاض الذى تعرض له منسوب سطح ماء النهر، ومع تكرار حدوث انخفاض مستوى القاعدة - فيما يعرف بإعادة تجديد النهر rejuvenation[1] تظهر سلسلة من المدرجات النهرية الممتدة فى موازاة القناة المائية على كلا جانبيها، وعادة ما تتكون من رواسب طمية وحصوية والأخيرة تغطى سطح المدرج النهرى.

ويمكننا بسهولة كبيرة تتبع خطوط الكنتور التى تحد القناة المائية للنهر داخل واديه وتحديد المدرجات النهرية ومعرفة أبعادها المختلفة ومعرفة مدى تقطعها بفعل عمليات التعرية وذلك حيث تتباعد الخطوط الكنتورية بشكل واضح فوق سطح

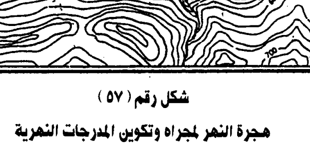
---

(١) يمكن ربط نقط التجديد knick points التى توجد فى مواضع بمجرى النهر بعملية تجديد الشباب والتى يمكن إظهارها من الخريطة الكنتورية من خلال التحام خطى كنتور ببعضهما على مجرى النهر وذلك بعد مراجعة الخريطة التركيبية للمنطقة.

الدرج terrace أو المصطبة bench النهرية ، بينما تقتـرب من بعضها البعض عند واجهتها، وعادة ما نجدها ـ خطوط الكنتور ـ تمتد بشكل متصل فى حالة المدرجات الحديثة التى عادة ما تظهر قرب السهل الفيضى الحالى للنهر وهى بطبيعة الحال أقل منسوبًا من المدرجـات الأقدم والأكثر تقطعًـا بسبب طول فتـرة تعرضها لعـمليات التعرية المختلفة.

وتبين الخـريطة الكنتورية بالشكل رقم (٥٧) هـجرة النهر لمجـراه من خلال تطور الثنيات، مع ظهور العديد من الأشكـال والملامح المورفولوجية المرتبطة بذلك وأكثرها وضوحًا سلسلة المدرجات النهرية.

ويمـكننـا من قـراءة هذه الخـريطة التوضـيحيـة بالشكل السـابـق توضيـح ما يلى:



شكل رقم (٥٧)

هجرة النهر لمجراه وتكوين المدرجات النهرية

ـ أن النهر يمر بمـرحـلـة التـطـور الأخـيـرة بـكل مـا يميزها من خصائص وأشكال حيث يبـعد خط كنتور ٥٠٠ متر عن القناة المائية.

ـ وضـــوح علامات الثـنية ووجود بحيرات مقـتطعة بأحد الروافد التى تلتـقى بالنهر الرئيـسى فى جانبه الغـربى عند خط كنتور ٤٠٠ مـتر والذى يظهر منه كذلك أن اتجاه الجريان المائى بالنهر من الشمال إلى الجنوب.

ـ ظهور سلسلة من المدرجـات النهرية التى تدل على مراحل سـابقة تكونت خلالها سهول فيضية قديمة، يلاحظ وضوح هذه المدرجات واستمرار امتدادها فى

الجانب الشرقى مقارنة بالجانب الغربى ويرجع ذلك إلى عدم وجود روافد تقطعها فى هذا الجانب.

ويوضح الشكل رقم (٥٨) رسمًا توضيحيًا لثلاثة مدرجات تظهر على جانبى إحدى الثنيات النهرية وقد نتجت بفعل عملية إعادة الشباب التى تعرض لها الوادى النهرى مع الانخفاضات المتعاقبة لمستوى القاعدة مما جعله ينحت فى سهله الفيضى القديم.



شكل رقم (٥٨)

أولاً: إعادة شباب

ثانيًا: إعادة شباب مع تقطع بالمدرج الأوسط مع زيادة النحت عند النقطة بالمدرج العلوى

ثالثًا: إعادة شباب تعرض فيها جزء من المدرج المنخفض للإزالة مع تعرض جبهات المدرج الأوسط والأعلى للنحت.

أما بالنسبة لدور التغيرات المناخية فى تكوين المدرجات فيظهر بوضوح فى الأنهار التى تجرى فى المناطق الجافة حيث تعد هذه المدرجات نتاج تتابع إرساب ونحت ارتبطت أساسًا بتعاقب فترات الرطوبة (المطر) مع فترات الجفاف. فيرى بعض العلماء فى ذلك أن النحت يسود خلال الفترة ما بين قمة الجفاف حتى قمة المطر وتسود عمليات الإرساب خلال الفترة من قمة المطر حتى قمة الجفاف حيث ترسب الأنهار حمولتها مصنفة من الأخشن إلى الانعم على القاع والجانبين وعندما يتغير المناخ باتجاه الرطوبة، معنى ذلك حدوث زيادة فى تصرف الأنهار مع قلة حمولتها من الرواسب[1]، ومن ثم تتجه للنحت فى القاع تعويضًا عن نقص رواسبها ومعنى ذلك تعرض مجرى النهر للتعميق فى الرواسب القديمة ـ التى سبق له ترسيبها مما يؤدى إلى تركه لها فى شكل مصاطب رسوبية جانبية مرتفعة.

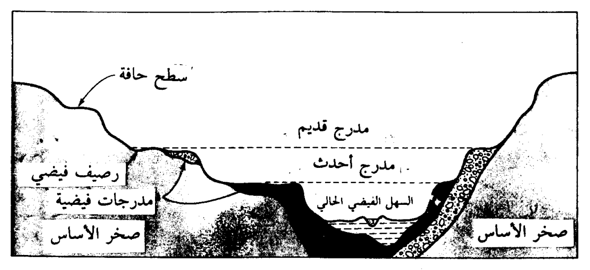
ومن أمثلة المدرجات النهرية التى تكونت بالكيفية السابقة تلك المجموعة من المدرجات التى تحد نهر النيل الأدنى فى مصر ـ فى أجزاء متباعدة ـ فى شكل بقايا مدرجات نهرية كونها نهر النيل خلال فترات متعاقبة منذ أواخر البلايوسين مرتبطة فى نشأتها بالتغيرات المناخية التى شهدتها مصر كغيرها من مناطق العروض الوسطى من بين رطوبة (مطر pluviation) وجفاف خلال البلايستوسين[2] وربما تأثرت كذلك بتذبذب مستوى البحر المتوسط وخاصة تلك المدرجات الواقعة إلى الشمال من ثنية قنا.

وقد درس المدرجات النيلية فى مصر عدد كبير من الجيولوجيين والجغرافيين وتتراوح مناسيب هذه المدرجات بين ١١٥ مترًا فى أعلاها وتسعة أمتار فى أخفضها والأول يرجع إلى أوائل البلايستوسين، بينما يرجع الأخير إلى فترة الموناستيرى المتأخر المقابل لفترة رس/ فرم ويوجد كذلك مدرج آخر أقل منسوبًا يمتد على طول النيل الأدنى فى مصر فى بعض المواضع بارتفاع ثلاثة أمتار فوق مستوى السهل الفيضى الحالى، انظر الشكل رقم (٥٩) الذى يبين مدرجات نهرية سابقة لتكون السهل الفيضى الحالى للنهر .

---

(١) يحدث ذلك بسبب تماسك الرواسب مع ازدهار النمو النباتى فى فترات الرطوبة.

(٢) يرى حزين أن مصر شهدت فترتين مطيرتين أولهما بدأت من أول البلايستوسين حتى منتصفه (ظهرت خلالها حضارة الحجرى الأسفل) والثانية بها قمتان أو ثلاثة وحدثت خلال الحجرى القديم الأوسط.



شكل رقم (٥٩)

إلى جانب المدرجات السابقة توجد أنواع من المصاطب البنائية structural be-nches تظهر على كلا جانبى الوادى، ويرجع تكونها إلى جريان النهر فى منطقة تتعاقب فيها صخور صلبة مع صخور لينة ممتدة فى وضع أفقى (صفى الدين، ص١٨١ .) وقد تظهر فى أحد الجوانب وتختفى فى الجانب الآخر وهى تختلف عن المدرجات الفيضية سابقة الذكر والتى تكونت كما عرفنا من نحت لرواسب سبق للنهر أن رسبها بسبب ظروف مناخية أو إيوستاتية (تغير مناسيب سطح البحر لظروف مناخية وليست تكتونية).

د. الثنيات المتعمقة Incised Meanders

تختلف الثنيات المتعمقة من حيث نشأتها وخصائصها الجيومورفولوجية عن تلك الثنيات (المنعطفات) التى تظهر فى مجرى النهر فى مرحلتى النضج والشيخوخة، فهى عادة ما تظهر فى قطاعات من الأودية الشابة تحيطها حافات تنحدر نحو قناة النهر بانحدارات شديدة على كلا جانبى الثنية المتعمقة (الخارجى والداخلى) على عكس الحال مع الثنيات الفيضية، كما تعد هذه الثنيات المتعمقة ملمحًا هامًا من الملامح التى تنتج عن تعرض بعض قطاعات النهر لإعادة الشباب التى تنتج بدورها عن حركات رفع تكتونية تؤدى إلى زيادة طاقة النهر على النحت الرأسى فى القناة المنحنية بحيث تتحول تلك الثنيات إلى ثنيات متعمقة تتماثل الانحدارات الشديدة على جانبيها لتبدو فى شكل ثنية خندقية trenched

meander ، أما إذا لم تكن الانحدارات متماثلة على كلا جـانبيها فيطلق عليها فى هذه الحالة ثنية غائرة ingrown meaner أو غير متماثلة.

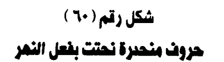
ويبين الشكل التـالى (٦٠) نتوءًا أرضيًا يتـوغل فى إحدى الثنيات المتعـمقة يمكننا أن نلاحظ منه ما يلى:

- انحدار شديد على الجـانب الخارجى للثنية المتعمقـة حيث يكاد خط كنتور ١٠٠ متـر أن يلاصق النهر من الجانب الخـارجى للثنية مع انحدار النتـوء انحدارًا معتدلا نحو الثنية.

- تشيـر الأسـهم بالخـريطـة إلى اتجـاهات هجرة النهر لمجراه.

ويمكننا كـذلك أن نتـتـبع مـراحل تكون الثنيـات المتـعـمـقـة من الشكل التـالى رقم (٦١) على النحو الآتى:

- **المرحلـة الأولى:** النهر يتـعرج داخل سهل فيضى يعلوه قليلا.



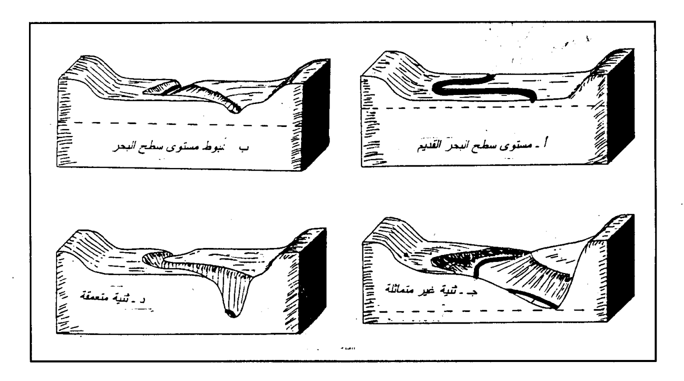
شكل رقم (٦٠)
حروف منحدرة نحتت بفعل النهر

- **المرحلة الثانية:** مع هبوط مستوى سطح البحر (مستوى القاعـدة) أو ارتفاع اليابس يتعرض النهر لإعادة الشبـاب ليبدأ فى تعميق مجراه فى وادى داخل سهلة الفيضى السابق.

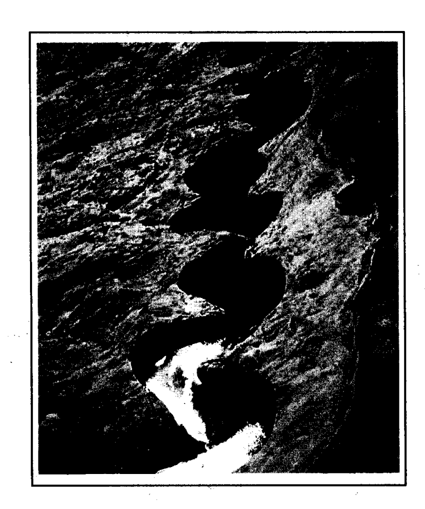
- يستمر نحت النهـر مع استمرار هبوط مستوى سطح البحـر لتبدأ الثنية فى هذه المرحلة فى التـعمق مع إزالة مـعظم بقايا السـهل الفيضى ، ينتـج عن هجرة الثنيات نحو المصب - أثناء عملية التعميق - قطاع عرضى غير متماثل[1].

---

(١) وهناك عوامل كثـيرة تؤدى إلى عدم انتظام القطاع العرضى للنـهر تتمثل إلى جانب مـا ذكر فى أ- إذا مر النهر على طول صدع أو بالقرب منه بـ - إذا شق النهر مجـراه فى منطقة مكونة من صخور جيرية جـ - أسباب أخرى مناخية ترتبط باتجاه جريان النهر ومدى تأثر جـوانبها بأشعة الشمس وما يرتبط بها من تغير خصائص جانبى النهر.



شكل رقم (٦١)



صورة رقم (١٦ ب)
تجديد شباب نهر
سان جوان

- **المرحلة الثالثة:** مع التعميق السريع للنهر لاتتاح الفرصة لهجرة النهر لمجراه مما يؤدى إلى ظهور قطاع عرضى أكثر تماثلاً ، بينما يبقى معظم السهل الفيضى دون نحت. لاحظ كذلك صورة رقم ٦٦ جـ التى توضح تجديد شباب نهر سان جوان ويتضح منها تعمق الثنيات النهرية.

هـ- القناة المضفرة Braided Channel :

ترتبط القنوات المضفرة بالأنهار المنحدرة التى تنقل رواسب خشنة ،غير متماسكة، تتميز جوانبها بقلة انحدارها باتجاه القاع وتكثر بمجاريها الجزر التى كثيراً ما تتعرض لإعادة التشكيل وأحياناً للإزالة وخاصة مع حدوث فيضانات شديدة شكل رقم (٦٢).

وفى كثير من الأحوال تتكون فوق قاع المجرى - غير الثابت - كثبان رملية صغيرة متحركة مع حمولة القاع bed load وعادة ما تتعرض القنوات المضفرة لفيضانات متكررة تكون قادرة على تدمير وإعادة تشكيل المواد الصخرية المكونة للجزر التى تكثر بها، وينتج عن هذه العملية أيضًا توسيع للقناة بدرجة تمكنها من استيعاب مياه الفيضانات لتضيق ثانية (مع إعادة تكون الجزر بها) مع تراجع الفيضان وهى بالتالى تظل فى حالة اضطراب دائم.

اتجاه جريان النهر

شكل رقم (٦٢)

ففى أثناء الفترة الخالية من الفيضان المدمر تتعرض القناة لتراكم المواد الدقيقة فوق التكوينات الخشنة المكونة للجزر مما يؤدى إلى نمو النباتات فوقها والتى بدورها تعمل على تماسك الرواسب وتعمل بالتالى على ثبات الجزر وعدم تغير أبعادها كثيراً عند تعرضها للفيضانات (knapp, B.etal, p 202) .

وعمومًا ، يختلف هذا النمط عن القنوات النهرية المستقيمة التى عادة ما ترتبط بانحدارات هينة تتكون جوانبها من رواسب دقيقة متماسكة فيما بينها تتكون قيعانها من رواسب رملية غير متماسكة كما أنها تختلف عن القنوات المنثنية والتى ذكرت بالتفصيل من قبل.

و ـ الدالات النهرية River Deltas(*)

تتكون الدلتا النهرية عندما تنقص سرعة النهر وتنقص بالتالى قدرته على حمل رواسبه وذلك عند دخوله بحيرة أو بحر، حيث تتجمع الرواسب النهرية فى معظم الأحوال فى شكل سهل رسوبى منخفض تكثر فوقه المستنقعات يطلق عليه السهل الدلتاوى deltaic plain ، ونتيجة لحدوث عمليات الترسيب عند المصب يتفرع النهر إلى فروع أو قنوات تتفرع بدورها إلى قنوات ثانوية يطلق عليها جميعًا الأفرع الدلتاوية distributaries تتشكل نتيجة لتكون الحواجز الرملية sand bars وتشكيلها لبحيرات طولية (لاجونات) تمتلئ تدريجيا بالرواسب لتتحول إلى سبخات، كما تتكون ألسنة رملية spits وبروزات أرضية وغيرها من الملامح المورفولوجية المميزة للسواحل الدلتاوية.

الظروف والعوامل المؤثرة فى تكون الدالات النهرية:

تتمثل العوامل التى تؤثر فى تكوين الدالات فيما يلى:

أ ـ الخصائص الطبيعية للظهير الدلتاوى Delta Hinter Land وحوض التصريف النهرى :

تتمثل العوامل المرتبطة بحوض التصريف النهرى فى التضاريس والخصائص الليثولوجية والتركيبية للصخور وظروف المناخ والحركات التكتونية وكلها تعمل على تحديد النظام المائى للنهر وخصائص الرواسب التى تمثل مادة البناء. فكلما كانت حمولة النهر من الرواسب كبيرة فيعنى ذلك أن طاقة النهر زائدة فى قطاعه الأعلى upper section مما يعنى أيضًا أن النحت يسود فى هذا القطاع، بينما يحدث نوع من السرعة النسبية فى عمليات الترسيب بالقطاع الأدنى lower section ومن ثم

(*) تعرف الدلتا بأنها عبارة عن تكوينات فيضية ترسبت عند مصب النهر تقطعها القنوات المائية وقد اشتق اسمها من حرف △ (الدال) اليونانى.

تصل كميات معقولة من الرواسب إلى المصب ؛ وذلك لأن النهر سريع الجريان فى قطاعه الأدنى يؤدى إلى نقل الرواسب إلى مسافات بعيدة داخل البحر مما يقلل من فرصة تكون الدلتا.

وكلما قلت البحيرات على القطاع الطولى للنهر فإن ذلك معناه ببساطة زيادة فى كمية الرواسب القادمة إلى المصب والتى كان يمكن لمثل تلك البحيرات أن تمثل مجالات موضعية لترسيبها ووصول المياه إلى المصب خالية تقريبًا من الرواسب.

ومن العوامل الأخرى المؤثرة فى تكون الدلتا والمرتبطة بحوض النهر تلك الظروف المناخية السائدة فى الجزء الأدنى من حوض النهر، فإذا ما كان المناخ رطبًا (غزير المطر) أدى ذلك إلى زيادة تصرف النهر وبالتالى زيادة قدرته على حمل ونقل الرواسب بأحجامها المختلفة إلى جانب أن المناخ المطير يعطى فرصة لوجود عدد من الروافد التى تلتقى بالنهر الرئيسى قادمة إليه بما تحمله من رواسب ومياه مثلما الحال فى حوض نهر المسيسيبى وحوض نهر الفولجا والراين وغيرها، بينما فى حالة نهر النيل نجده يشق خلال قطاعه الأدنى مسافات طويلة داخل نطاق صحراوى جاف لا يلتقى به أى رافد باستثناء الأودية الصحراوية الجافة التى نادراً ما تحمل إليه مياها أو رواسب، وقد انعكس ذلك بوضوح فى قلة الرواسب القادمة إلى دلتاه والتى كان يمكن أن تكون أكبر كثيراً من مساحتها الحالية التى لا تزيد كثيرًا عن ٢٢ ألف كيلومتر مربع. لو لم تكن الظروف المناخية فى مصر بمثل هذا الجفاف والحرارة المرتفعة ولم يكن انحدار النهر بمثل هذا البطء الشديد (١ : ١٠٠٠٠) داخل الأراضى المصرية[1].

ب ـ عوامل مرتبطة بالشقة المائية عند المصب :

تتمثل العوامل التى ترتبط بخصائص البحيرات والبحار التى ينتهى إليها النهر، فى طبيعة الساحل من حيث درجة انحداره، فكلما كان الانحدار هينًا ساعد ذلك على نمو الدلتا وخاصة فى مراحل نشأتها الأولى، مهما كانت الرواسب

(١) لن نتحدث هنا عن الأثر السلبى للسد العالى على تكون الدلتا ونموها، فله موضع آخر فى هذا الكتاب .

القادمة كبيرة فى حجمها فإنها لا يمكن أن تتشكل فى صورة دلتا على سواحل منحدرة، وخاصة مع وجود تيارات شاطئية سريعة وأمواج عنيفة مدمرة مثلما الحال مع الساحل الصدعى على المحيط الأطلنطى الذى ينتهى عنده نهر زائير والذى لم يتمكن رغم ضخامة الرواسب التى تصل إلى مصبه من تكوين دلتا واقتصر دوره فى تكوين مصب خليجى estuary يشبه فى ذلك مصب نهر الأمازون.

ويتمثل دور البحر فى تكوين الدلتا فى كون مياهه المالحة تعمل على تلبد flacculate الجزيئات الدقيقة من الرواسب مما يزيد من وزنها وسرعة ترسيبها واستقرارها فى مواضع الترسيب.

ووفقًا لما ذكره Holmes فإن الكثافة النوعية specific density لمياه البحر والنهر (بسبب الاختلاف فى الحرارة والملوحة salinity) ذات أثر كبير فى تحديد أنماط الدالات وأشكالها، فإذا ما كانت مياه النهر أقل كثافة من مياه البحر أو البحيرة فإنها فى هذه الحالة سوف تتدفق لمسافات بعيدة نسبيًا طافية فوق مياه البحر، بينما تكون فى نفس الوقت محدودة فى انتشارها الجانبى وذلك بسبب قلة السرعة على هوامش التيار المائى مما يؤدى إلى حدوث ترسيب فى شكل تراكمات جانبية lateral accumulation ومن ثم تزداد ارتفاعًا لتحدد الجريان المائى فى شكل قنوات واضحة المعالم، ومع زيادة ارتفاع هذه القنوات بشكل دورى تتشكل قنوات جديدة مكونة دلتا من النمط الإصبعى مثل دلتا المسيسبى التى تتميز مياهها بكثافتها النسبية الأقل ورواسبها الدقيقة.

أما إذا ما كانت مياه النهر أكبر كثافة من مياه البحر أو البحيرة - ربما بسبب حمولتها الزائدة من الرواسب العالقة - فإنها قد تغوص تحت المياه السطحية متحركة فى شكل تيار عكر turbidity current يؤدى بالرواسب الدقيقة إلى مسافات بعيدة ، بينما تترسب المواد الخشنة فى موضع قريب من خط الشاطئ، وهذا النوع من الدالات يكون أكثر انتشارًا من النمط السابق ومنه دلتا نهر الرون ودلتا نهر النيل وفيها تكاد تتساوى الكثافة النسبية لمياه البحر ومياه النهر.

كذلك يظهر أثر البحر فيما تقوم به التيارات الشاطئية longshore drift وحركة الإزاحة على طول الشاطئ من تحريك للرواسب على طول خط الشاطئ

مكونة الحواجز الرملية والتى تعمل الرياح على تراكمـها وتشكيلها فى كثبان رملية مرتفعة تحمى الدلتا وتساعد فى نموها تجاه البحر على حساب الشقة الضحلة. ومن العوامل الأخـرى المؤثرة ما تتعـرض له الأراضى الدلتاوية من هبـوط نتيجـة لثقل الرواسب، فإذا ما كـان معدل الهبوط سريعًـا يقل بالتبعية نمو الدلتا باتجـاه البحر، ويمكننا حساب هبوط downwarping القشرة الأرضية ببعض الدالات التى تتعرض لها من خلال قياس سمك الرواسب الموجـودة والتى تصل فى بعضها إلى أكثر من ٣٠٠ متر.

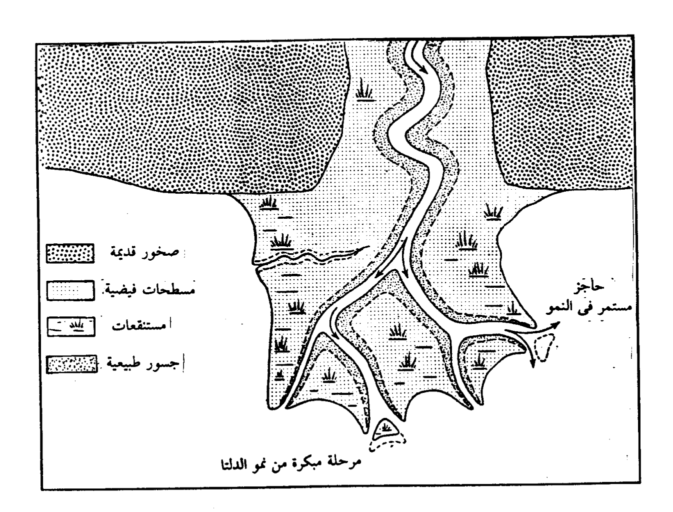
بالنسبـة للدالات البحـيرية lacustrine deltas التى تتـكون على ســواحل بحيرات داخلية فإنها تتشـابه فى معظم الملامح العامة مع الدالات البحرية marine deltas ، وإن اخـتلفت عنهـا فى اختـفـاء فعل الأمـواج ، إلى جـانب أن ميـاه البحـيرات العذبة لا تعمل على «تلبـد» الرواسب الدقيقـة مما يؤدى إلى قلة سمك الرواسب الدلتاوية التى تنشأ على سواحلها. كذلك فـإن مياه النهر المحملة بالغرين والطين تكون ذات كثافة أكبر من مياه البـحيرة العذبة الصافية فى أغلب الأحوال، ومن ثم يغوص التيار النهرى المـندفع نحو القاع متحركًا لمسافات بعـيدة كتيار عكر حاملاً معـه مفتتاته الدقيقة ليـرسبها على مسافات بعـيدة عن الشاطئ - على قاع البحيرة - ومن ثم نجد أن الدالات البحيرية غالبًا ما تمتد لمسافات بعيدة عن الشاطئ مع قلة انحدار سطحها بشكل واضح (Sawyer, K.E., P28).

ومن أمثلة هذه الدالات دلتا نهر الفولجا على السـاحل الشمالى لبحر قزوين الداخلى حيث تنمو بمعدل سريع تساعدها فى ذلك مجموعة من الظروف والعوامل الطبيعية السائدة.

مراحل تكون الدالات النهرية :

- تترسب مـعظم المواد الخشنة أولا فى شكل طبقـات متتـابعة فيمـا يسمى بطبقات الواجهة forset beds فى جبـهة الدلتـا ، بينما تتجـه التكوينات الدقيـقة للتعلق فـى الماء فترة ثم ترسب أمـام الرواسب السابقة بـاتجاه البحـر فيمـا يعرف بطبقات القاع ومع مرور الزمن تغطى هذه التكوينات الأخيرة برواسب الواجهة التى تنحدر انحدارًا هينًا نحو البحر وتكثـر بها التكوينات العضوية البحرية وتغطى هذه

التكوينات برواسب نهرية دقيقة تسمى طبقات القمة topset beds وهى التى يطلق عليها السهل الدلتاوى شكل رقم (٦٣).

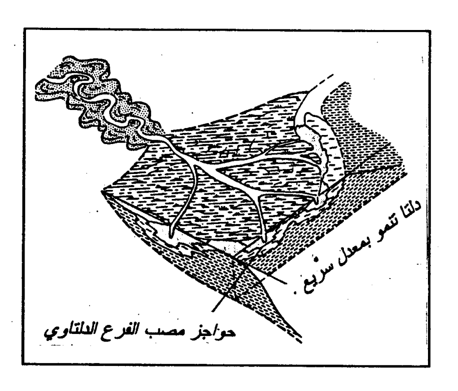


شكل رقم (٦٣)

- ينقسم النهـر بعد عمليـة الترسيب عند المصب إلى عـدد من الفروع، مع ظهور ألسنـة وحواجز رمليـة تؤدى إلى تكون بحيـرات طولية lagoons ، وتتميز فروع النهر وقنواته المائية بتكون جسور طبيعية على جوانبها.

- تبدأ البحيرات الطولية فى الامتلاء بالرواسب لتتحول إلى مستنقعات وتبدأ الدلتا فى هذه المرحلة أكثـر تماسكًا واستقرارًا وخاصـة مع ازدهار النمو النباتى فى الجزء الأقدم من الدلتا (قرب رأسها) وارتفاعه التدريجى البطىء.

-تختفى المستنقـعات نتيجة للظروف السابقـة بشكل تدريجى مع تحولها إلى أرض يابسة كامتداد دلتاوى تجاه البحر[1]. راجع الشكل رقم (٦٤).



شكل رقم (٦٤)

معدلات نمو الدالات النهرية :

كما عرفنا فإن الدلتا فى حقيقتها عبارة عن امتداد متسع للسهل الفيضى للنهر عند مصبه، وهـذا النمو للرواسب الفيضية يخـتلف من منطقة إلى أخرى،أو بمعنى آخر أن معـدل نمو الدالات يختلف من دلتا إلى أخرى ويرجع ذلك بطبيـعة الحال إلى اختلاف العـوامل التى تساعد على تكونها ونموها من منـطقة إلى أخرى والتى ذكرناها فى الصفحات السابقة.

فعلى سـبيل المثال نجد أن المـعدل السنوى لنمو دلتـا المسيسبى على حـساب خليج المكسيك يبلغ ٧٥ مترًا ومعدل نمو دلتا نهر «البو» على حساب البحرالأدرياتى

(١) يجب أن نعرف أن الرواسب الفيـضية fluvial deposits قد لا تأخذ المظهـر الدلتاوى قرب المصب بل تظهر فى شكل سهول رسـوبية منتشرة مثل سهل الصـين الشمالى الذى يعد سهلا دلتـاويا لنهر هوانجهو وكذلك سهول دجلة والفرات.

أكثر من ١٤ متـرًا فى السنة ويصل المعدل السنوى أقصاه فى دلتا نهـر الفولجا التى تتقدم باتجاه بحر قزوين جنوبًا أكثر من ٣٠٠ متر فى السنة ويرجع ذلك إلى هدوء ميـاه بحر قزوين (بـاعتبـاره بحيرة داخليـة) وبرودة المناخ ورطوبته بحـوض نهر الفولجا. وقد كانت دلتا نهر النيل تتقدم سنويًا على طول امتداد قاعدتها نحو أربعة أمتار ولكن بعد بناء السد العالى وحـجز أغلب حمولة النيل من الرواسب لم يعد يصلها شىء يذكر من الرواسب وأصبحت تتعرض للتآكل وتراجع خط الشاطئ فى مواضع مختلفة سوف نذكرها تفصيلاً فى الفصل الأخير من هذا الكتاب.

أنواع الدالات النهرية :

توجد أشكال مـتعددة من الـدالات النهرية يمكننا هنا أن نشـير إلى الأنواع الثلاثة الرئيسية منها على النحو التالى :

- الدالات المروحية Arcuate Deltas :

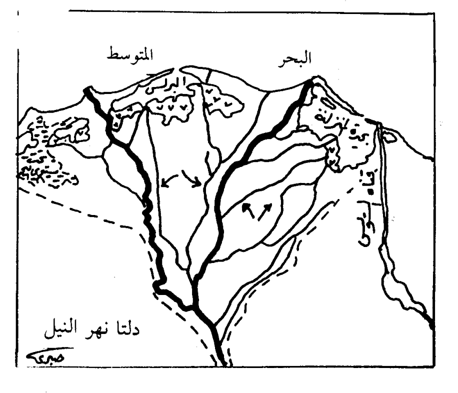
وهى أكثر الأنواع شيوعًا وانتشارًا وتتكون رواسبها من مواد خشنة من الرمال والحصى وعادة مـا تأخذ شكل حرف الدال اليونانى▽(مثلث مـقلوب) وتكثر بها الفروع ومن هذه الدالات دلتا نهر النيل فى مصـر ، ودلتا نهر الكانج ، ودلتا نهر السند ، ودلتا إيراوادى فى بورما ، ودلتـا الميكونج فى فيتنام ، والراين فى هولندا راجع الشكل رقم (٦٥).

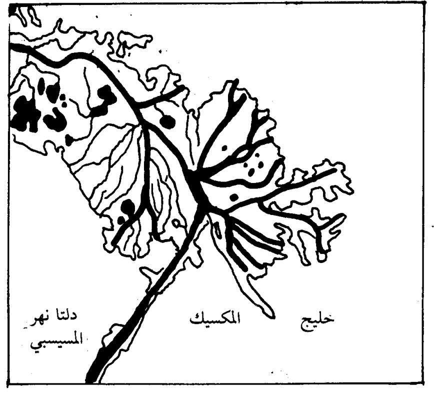
- الدلتا الإصبعية Digitated Delta :

يتكون هذا النوع من الدالات من رواسب شديدة النعومة يتفرع النهر خلالها إلى أفرع قليلة مـحددة الجوانب تتميـز بقلة تعرجها بسـبب شدة تماسك الرواسب الناعمة (عادة من غرين وطين). وتعد دلتا نهر المسيسبى مثالا جيدًا لهذا النوع من الدالات الإصبـعية، وكـذلك دلتا نهر فادار الـتى يجرى خلالها فـرعان رئيسـيان تحدهمـا جسور طبيـعية واضـحة تعمل على حمـاية الدلتا من الفيـضانات (راجع الشكل السابق رقم ٦٥).

- دالات المصبات الخليجية Estuarine Deltas :

تظهر هذه الدالات عند مصبات الأنهار المغمورة sub-merged[1] فى شكل خليجى مثلما الحال فى أنهار الألب فى ألمانيا والأوب فى روسيا والفستولا فى بولندا ودلتا نهر ساسكوينا فى الولايات المتحدة الأمريكية ، ومصب نهر الأمازون فى البرازيل وأنهار السين واللوار والجارون فى فرنسا.





شكل رقم (٦٥)

(١) عادة ما تكون التيارات المسئولة عن توزيع الرواسب قادمة من كل من النهر والبحر فيسود التيار النهرى المحمل بالرواسب أثناء الجزر، وفى حالة المد تسود التيارات البحرية التى تؤثر فى توزيع الرواسب وعادة ما تتميز هذه الرواسب بنعومتها، وقد تتشكل أحيانًا فى صورة جزر.

المراوح الفيضية Alluvial Fans

(كشكل رسوبي للأودية السيلية الجبلية)

تعد المراوح الفيضية من الأشكال الرسوبية واسعة الانتشار فى المناطق الجافة وشبه الجافة وتتكون هذه الظاهرة عندما تتدفق المياه السيلية الغزيرة من المناطق الجبلية شديدة الانحدار باتجاه السهول المنخفضة الملاصقة لأقدام الجبال.

وتختلف المراوح الفيضية المنفصلة - عن بعضها البعض - كثيرًا فى أبعادها ولكنها عادة ما تأخذ الشكل المخروطى مع ظهور القمم apexes قرب الجبهة الجبلية. ويتم الترسيب على المراوح الفيضية مع حدوث تغيرات فى طبيعة الجريان المائى بعد أن يترك القنوات الرئيسية المغذية من النطاق الجبلى، حيث تتسع القنوات المائية وتقل سرعة جريان المياه بها، وغالبًا ما تفقد المياه بالتبخر أو التشرب فى رواسب المروحة مما يؤدى إلى حدوث الترسيب حيث تكون سرعة الجريان غير كافية لحمل الرواسب الخشنة، ومن ثم تترسب فوق سطح المروحة وحول جوانبها مما يساعد على زيادة حجمها، ومع استمرار تشرب المياه فى رواسبها يزداد معدل الترسيب فوقها.

ومع تكرار تدفق المياه السيلية باتجاه المروحة يزداد انحدار سطحها وتتشكل فوق سطحها قنوات مائية عادة ما تتميز بعدم استقرارها[1] وخاصة مع زيادة اتساعها وقلة عمقها بالاتجاه نحو أقدام المروحة وغالبًا ما تكون هذه المجارى من نوع القنوات المضفرة braided channels .

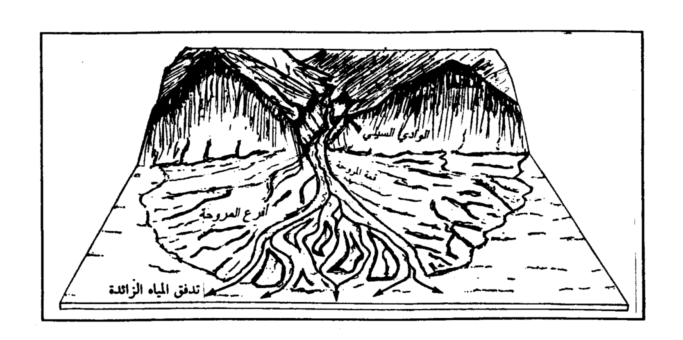
وعادة ما تتميز المروحة الناضجة بوجود قناة عميقة قرب الجبهة الجبلية تتفرع بعد ذلك إلى الفروع والقنوات سابقة الذكر والتى تتميز بتغير مواضعها - عدم استقرارها - فوق سطح المروحة من وقت إلى آخر وخاصة عندما تنسد القناة الرئيسية بالمفتتات (شكل رقم ٦٦).

وتتجه المياه الزائدة من المروحة الفيضية نحو السهل المنخفض لتتشرب فى الرواسب، وفى بعض الحالات قد تنساب نحو مركز حوض جبلى منخفض مكونة بحيرة مؤقتة تعرف ببحيرة البلايا playa lake[2] (المؤلف ١٩٩٦، ص٣٤).

---

(١) تتميز الرواسب التى تمتد خلالها هذه القنوات بخشونتها وعدم تماسكها وقد ساعد ذلك على سرعة إعادة تشكيل هذه القنوات بشكل مستمر أثناء تدفق السيول.

(٢) توجد أشكال مختلفة من البلايا تعتمد فى خصائصها على أصل البحيرة المكونة لها هل هى نتاج جريان سطحى أم نتيجة لارتفاع منسوب المياه الأرضية فإذا ما كانت نتاج رفع منسوب المياه الأرضية فعادةما تكون مشبعة بالأملاح بحيث تترك قشرة ملحية سمكية بعد تبخر مياهها.



شكل رقم (٦٦)

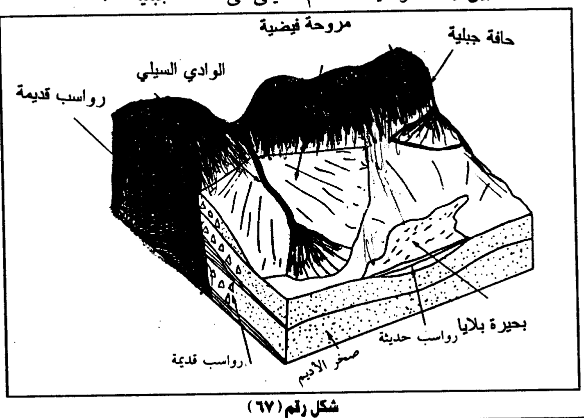
وعندما توجد مـجموعة متجـاورة من المراوح الفيضية فيـؤدى نموها وانتشار رواسبها انتشـارًا جانبيًا إلى التحامها ببـعضها البعض مكونة سهولا فـيضية تعرف بسهول البدمنت pediment أو بالسهول الهرمية.

وتوجد ظاهرة المراوح الفيـضية والمخاريط cones فى مناطق كثيـرة بصحراء مصر الشرقية وشبه جـزيرة سيناء حيث تظهر عند نهايات الأودية (الروافد الثانوية) فى مواضع التـقائها بالأودية الرئيسيـة مثل تلك المراوح والمخاريط النمـوذجية التى تظهر بوضوح على طول جانبى المجرى الأدنى من وادى دهب بسيناء.

كما أن الكـثير من الأودية الجافة بـصحراء مصر الشـرقية المتجـهة إلى النيل تنتهى بمراوح فيضية بعد اجتيـازها الحافة باتجاه السهل الفيضى حيث يقل الانحدار بشكل سريع عند هوامشـه الشرقية، ومن أمثلة هذه المراوح تلك المروحة الفـيضية التى تكونت أمام مصب وادى الهيزة فى حوض الصف، كـما ينتهى وادى البستان عند حوض الشيخ حسن بمروحة فيضية واضحة فى مواجهة مدينة «مطاى».

وما دمنا فى ذكـر المراوح الفيضـية فيجـدر بنا أن نعرض بإيجاز خـصائص المجـرى السيـلى الـذى عادة ما ينتـهى بالمروحة أو المخروط الفيضى ويتميز المجرى

أو الوادى السيلى بشكل عام بقـصره وشدة انحداره ، وعادة ما يتحـيز فى امتداده مناطق الضعف فى الصخـور سواء كانت ليثولوجـية أو تركيبية ، وينقـسم مجرى الوادى السيلى عادة إلى قسمين أو ثلاثة أقـسام: الأول - ويتمثل أساسًا فى حوض التجمـيع أو المنطقة التى تتجمع فيـها كل مياه الأمطار السيلية من خـلال المسيلات المائية العـديدة وتسود داخل هذه المنطقـة عمليـات الحت السيلى التى يمـتد أثرها كـذلك فى أعالى الوادى السـيلى الرئيـسى والذى كـثيـرًا ما يمـتلئ بالجـلاميـد والتكوينات كـبيرة الحـجم والرواسب الحصـوية مما قد يؤدى إلى انسـداده أو تحرك تلك الكتل مع مياه السيـول المتدفقة، أما القسم الثانى - فهو الـقناة الرئيسية لمجرى السيل وتتـميز بالعـمق والاستقـرار وتقع أعلى المروحة، وعـادة ما يأخذ قطاعـها العرضى شـكل حرف « V » ويطلق عليـه قناة الجريان وتسـوده عمليـات النحت الرأسى وإن كانت تتراكم فى قاعة الجـلاميد والتكوينات الخشنة الأخرى التى تنتظر مجىء سـيل استثنائى لـتتدفق مع تيـاره الدوامى العنيف باتجاه القـسم الثالث من النظام السيلى وهو المروحـة بخصائصـها الجيومـورفولوجية التى ذكـرت آنفًا شكل (٦٧) الذى يبين رسمًا توضيحًا للنظام السيلى فى منطقة جبلية[١].



شكل رقم (٦٧)

---

(١) ظهر عدد من المعادلات التى توضـح العلاقة بين مـساحة المروحة الفـيضية وحوض تصريفهـا مثل معادلة دينى Denny ١٩٦٥ وتتـمثل فى أن مـساحة المـروحة = $\frac{١}{٢}$ مساحة حـوض التصريف × $\frac{٨}{١٠}$ ومعادلة Hooke ١٩٦٨ وتتمثل فى أن مساحة المروحة = ١٥,٠ × مساحة حوض التصريف × ٩,٠

أنماط التصريف النهرى

يقصد بنمط التصريف النهرى : الشكل العام الذى تأخذه الروافد برتبها المختلفة عندما تلتقى ببعضها البعض داخل حوض التصريف النهرى أو فوق سفح له درجة انحدار ما ، ويرجع اختلاف أنماط التصريف النهرى إلى ارتباطها الوثيق بالصور التركيبية والخصائص الجيولوجية للصخور التى تجرى فوقها إلى جانب تأثرها بانحدار سطح الأرض.

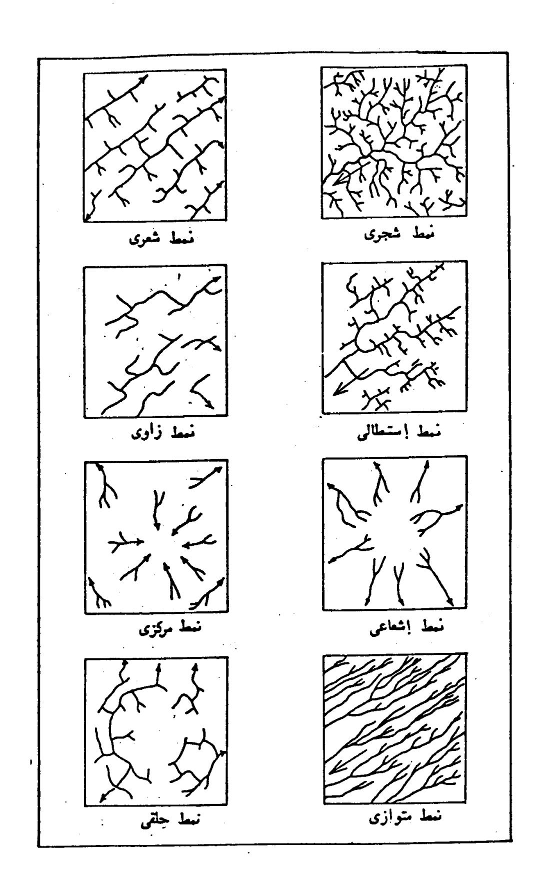
وعادة ما يحدث تفاوت فى تصنيف أنماط التصريف المائى بسبب اختلاف مقاييس رسم الخرائط حيث يحدث تعميم عندما تستخرج الأنماط من خريطة بمقياس رسم صغير ومن ثم فلا يعطى صورة واقعية عن شبكة التصريف المائية؛ ولذلك فإن الصور الجوية كبيرة المقياس تعد أكثر دقة بكثير فى توضيحها وتحديدها لأنماط التصريف. وإن كانت الخريطة الكنتورية كبيرة المقياس يمكن الاعتماد عليها فى ذلك وخاصة عندما تكون قد اعتمدت فى رسمها على الصور الجوية، وفيما يلى إيجاز لخصائص أهم أنماط التصريف النهرى :

أ - النمط الشجرى (النمط المتفرع) Dendritic Pattern :

يتميز هذا النمط بالتفرع غير المنتظم لرتب الأودية داخل حوض التصريف النهرى ويعد أكثر الأنماط انتشارًا وعادة ما يرتبط بالصخور الرسوبية المتطابقة أفقيًا، كما أنه كثيرا ما يرتبط بصخور نارية أو متحولة[1] تتميز بالتجانس وتبدو الأراضى الواقعة بين الأودية الرئيسية والروافد interfluves فى شكل حافات ونتوءات بارزة تمثل قممها مناطق لتقسيم المياه شكل رقم (٦٨) وتلتقى الروافد ببعضها البعض فى هذا النمط بزوايا حادة فتبدو الصورة العامة كشجرة متعددة الفروع، وتعد الكثير من أودية الصحراء الشرقية ضمن هذا النمط ومنها وادى قنا بروافده ووادى سفاجة وغيرها الكثير.

---

(١) خاصة عندما تكون الصخور النارية والمتحولة غير متشققة وقد تكون مغطاة فى مرحلة سابقة بصخور رسوبية نمت فوقها شبكة التصريف الشجرية ثم أزالتها وواصلت النحت والجريان فوق الصخور النارية ، كما أنه قد يظهر هذا النمط أيضًا فوق حطام صخرى متجانس.



شكل رقم (٦٨)

أنماط التصريف النهرى

ب - النمط المتشابك Trellis Drainage Pattern :

يظهر هذا النمط فى منطقة تتعاقب فيـها الصخور الصلبة مع الصخور اللينة friable rocks مع ميلهـما سويا فى اتجاه واحـد بتعامد مع الاتجاه الـعام لانحدار النهر الرئيـسى (التابع)، وعادة مـا تزداد الروافد طولاً من خلال عـمليات النحت التراجعى فـى الصخور اللينة محـولة مجاريها إلى أودية مـتسعة لتظهـر الصخور الصلبـة فى شكل حافـات escarpments أو تلال فـقارية، وتلـتقى هذه الروافـد (الأودية التالية) بالنهر الرئيسى فى زوايا قـائمة ، كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٦٨) تمتد فى موازاة خط المضرب strike line؛بينما تمتد الروافد الثانوية فى موازاة النهر الرئيسى كأودية عكسية opsequent valleys .

وتوجد أمثلة لهذا النمط من أنماط التصريف النهرى فى جنوب شرق إنجلترا حيث تتعاقب صخـور صلصالية لينة مع طبقات من الصخور الجـيرية والطباشيرية الصلبة، كمـا يظهر ذلك النمط أيضًا فى الجزء الشرقى من حـوض باريس بفرنسا فى المناطق المعروفـة هناك باسم (أراضى الحافات والوهاد) والتـى يجرى فيهـا نهر السين وروافده فوق صخور غير متجانسة التركيب (جودة، ص٢٣٧).

جـ - النمط المستطيل (المتعامد) Rectangular Pattern :

تلتقى فيه الأودية الرئيسيـة وروافدها بزوايا قائمة، كذلك تنحنى على طول مجـاريها بزوايا قائمـة أيضًا، وعادة مـا تتميـز الروافد التالـية بتأثرها بالتـراكيب الصخريـة من فوالق وفواصل، ويظهر مـثل هذا النمط فى مناطق مختلفـة متأثرة بهذه التراكيب الصخرية مثلما الحال على سواحل شبه جزيرة إسكندنافيا.

د - النمط المقلقل Deranged Pattern :

يظهر فى المناطق حديثة النشأة والتكوين وتظهر فيه المجارى المائية بشكل غير منتظم تكثر بها الانحناءات وتنتشر السبخات.

هـ - النمط الحلقى Annular Pattern :

يظهر هذا النمط فوق القباب المنحوتة من القلب أو بمناطق الأحواض basins والتى توجد بها صخور متباينة فى خصائصها ومختلفة فى درجة مقاومتها لعمليات

التعرية. ويبدو المظهر العام فى شكل حلقات تمتد فى القنوات الرئيسية على طول امتداد الطبقات الضعيفة فى شكل غير مكتمل الحلقية وذلك بسبب اختلاف أنواعها ما بين مجارى تابعة وأخرى تالية أو عكسية.

و ـ النمط الإشعاعى Radial Pattern :

تنحدر فيه مجموعة من المجارى المائية من نقطة مركزية عليا باتجاهات مختلفة، وعادة ما تظهر فى المناطق التى تأثرت بالحركات التكتونية الحديثة مثل مناطق المخروطات البركانية التى تنحدر على جوانبها أودية تابعة تتمشى مع الانحدار العام لجوانب المخروط.

ز ـ النمط المركزى Centripetal Pattern :

يظهر هذا النمط من أنماط التصريف النهرى عندما يتجه عدد من المجارى المائية من نقاط متعددة نحو أخفض منطقة داخل حوض طوبوغرافى أو منخفض تركيبى structural depression .

حـ ـ نمط متوازى Parallel Pattern :

يظهر هذا النمط من أنماط التصريف فوق مساحات واسعة منحدرة على جوانب الحافات الجبلية فى العروض الجافة.

إلى جانب ما سبق من أنماط التصريف النهرى هناك أنماط أخرى ولكنها أقل انتشاراً مثل النمط الشائك[1] والشُعبى وغيرها من أنماط.

(١) يرتبط هذا النمط عادة بالمنابع العليا للأنهار ويتكون حيث تسود ظاهرة الأسر النهرى.

مناطق تقسيم المياه (ما يرتبط بها من عمليات واشكال ارضية)

يقصد بمنطقة تقسيم المياه water divide المنطقة الجبلية المرتفعة التى تنصرف على جوانبها المياه فى اتجاهين مختلفين أو أكثر، وتظهر منطقة تقسيم المياه عادة فى شكل حافة طولية تنحدر الأنهار على كلا جانبيها، ويمثل خط تقسيم المياه الخط الوهمى الذى يصل بين الذرى المرتفعة فاصلا بين نطاقين مائيين أو أكثر.

وعادة ما يحدث للروافد العليا للأنهار أن تقوم بعملية نحت تراجعى مضطرد على جانبى منطقة تقسيم المياه لإطالة مجاريها تساعدها فى إتمام ذلك عمليات التجوية والانهيارات الأرضية ، كما أن لكثرة الفواصل والصدوع بهذه المناطق دوراً كبيراً فى المساعدة على التراجع الرأسى للأنهار وإطالة مجاريها والتى تتم هنا بتراجع الحافات فى منطقة تقسيم المياه.

وعادة ما يكون من الأمور اليسيرة مد خط على الخريطة يصل ما بين البقايا المتبقية من القمم التى تعرضت خلال فترات طويلة سابقة لعمليات التعرية ـ خاصة ما يرتبط منها بعملية النحت الصاعد ـ يعرف هذا الخط بخط تقسيم المياه الأصلى initial water divide line، وعلى ضوء ما يتم يمكننا حساب مقدار التراجع الذى تم على طول المنابع العليا لنظم التصريف النهرية، وإذا ما أردنا رسم خط تقسيم للمياه يمثل الوضع الراهن للمنطقة فإنه بطبيعة الحال سيحصر مناطق بينه وبين خط التقسيم الأصلى (المعمم) السابق، وبحصرنا لتلك المناطق وتحديدها سوف نتمكن من تفهم العديد من التغيرات الجيومورفولوجية التى تعرضت لها المنطقة، مثل تحديد مناطق حدوث الأسر النهرى river capture وما يرتبط بها من ملامح وأشكال تدل على حدوثه مثل كوع الأسر وثغرات الريح wind gaps والنهر الضامر وغيرها.

ومن مناطق تقسيم المياه التى يمكننا تتبع مثل هذه الملامح والأشكال عليها بوضوح منطقة تقسيم المياه الممتدة على طول قمم سلاسل جبال البحر الأحمر فى مصر التى تفصل بين نظم التصريف «الغورى» المتجهة إلى البحر الأحمر شرقًا ونظم الأودية المتجهة نحو وادى النيل فى الغرب. حيث يمكن عمل خط تقسيم مياه مبسط (معمم) لما كان قائمًا فى الماضى، ومن الطبيعى أن ننتظر حدوث عمليات نحت وأسر نهرى أنشط لصالح الأودية المتجهة نحو البحر الأحمر لما تتميز به من خصائص الشباب المعروفة.

وفى مرتفعات عسير تظهر الذرى العالية فاصلة بين السفوح شديدة الانحدار المتجهة نحو البحر الأحمر غربًا وتلك السفوح الأقل انحداراً نحو الشرق ، ويعرف خط القمم العاليـة هنا بخط «الشعاف» وتعرف الفتحـات (مناطق الأسر النهرى) بالعقبات وهى المنافذ التى تعبرها الطرق البرية من الساحل (ساحل تهامة) والمناطق الداخلية.

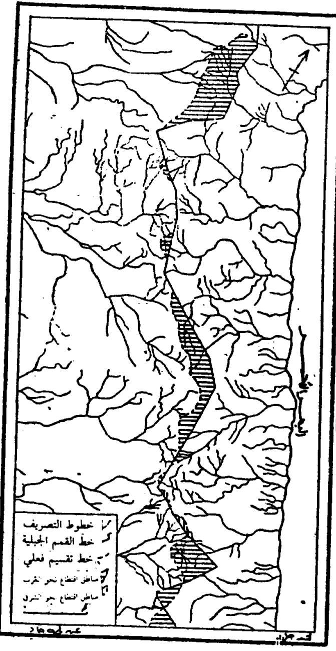
نخلص مما سبق أنه كلما كانت عمليـات التراجع سريعة ونشطة على جانبى مناطق تقسـيم المياه أو على أحـد جانبيـها ينعكس ذلك بوضوح عـلى شدة تقطع وتأثر بقايا خط التقـسيم الأصلى والذى عادة ما تكون محاولة رسـمه من الخريطة محاولة تقـريبية إلى حد كبـير، بينما نجد أنه من السهـولة بمكان رسم خط تقسيم المياه فى حـالة استمرارية الارتفـاع المتماثل على طول قـمة الحافة الطوليـة (منطقة تقسيم المياه) حيث يدل ذلك على ضعف عمليات النحت التراجعى لأعالى الأنهار وعدم وضوح عمـليات الأسر النهرى، وهذا بدوره قد يرتبط بخصـائص الصخور وعدم حدوث حركات تكتونية ذات شأن مما جعلها تحافظ على خصائصها الأصلية وتقاوم عمليات التعرية وخاصة مع خلوها من الشقوق والفواصل ومع صلابتها.

وعمومًا،فإنه فى كل الحالات يجب التـأكد من أن الأجزاء المرتفعة هذه تمثل البقايا الحقيقية لخط تقسيم المياه السابق وليست نتاج عمليات تكتونية لاحقة أو نتاج طفـوح بازلتيـة حديثـة (راضى، ١٩٩٤، ص٣٩) ويمكننا ذلك من خلال تفـهم الخريطة الجيولوجية والتركيبية للمنطقة أو من خلال العمل الحقلى.

وتوضح الخريطة بالشكل رقم (٦٩ أ) منطقـة تقسيم ميـاه بوسط الصحراء الشرقية يلاحظ منها الأودية المتجهة نحو البحر الأحمر شرقًا ونحو النيل فى الغرب وخط القمم الجـبلية (خط التـقـسيم الأصلى) وخط تقـسيم المياه الفـعلى والمناطق المقتطعة نحو الغرب والأخرى المقتطعة نحو الشرق.

الأسر النهرى والأشكال المرتبطة بها (علامات الأسر)

تظهر عمليات الأسر النهرى عـادة فى المنابع العليا للأنهار حيث تنتج أساسًا عن نشاط عمليات النحت الصاعد للأنهار باتجاه مناطق تقسيم المياه. ولفهم هذه العملية وما يتم خلالها يمكننا أن ننظر بدقـة إلى الرسم التصويرى شكل رقم (٦٩ب) الذى يبين حدوث عملية أسر نهرى على كلا جانبى حافة هضبة تنحدر انحدارًا شديدًا جهة الغرب مما ساعد النهرين أ و ب على النحت التراجعى الصاعد بمعدل سريع باتجاه الشرق وذلك من خلال تراجع الحافة المنحدرة شرقًا مما أدى إلى حدوث أسر للنهر الأقل انحدارًا وسرعة والمتجه نحو الجنوب الشرقى.



شكل رقم (١٦٩)

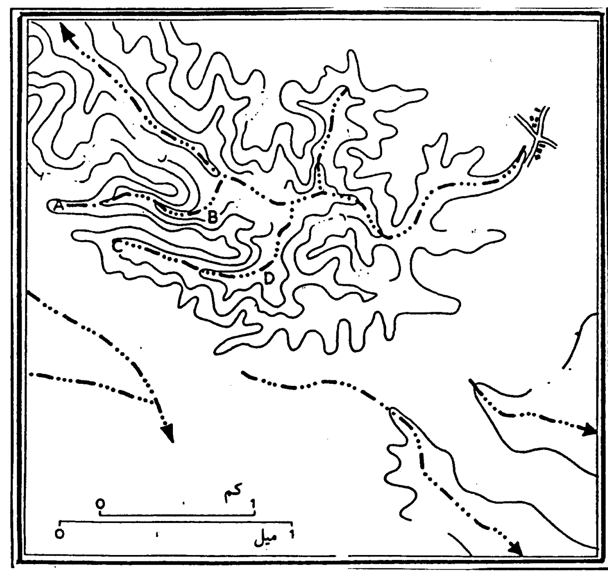
ويوضح الشكل رقم (٦٩ب) كيف تتم عملية الأسر النهرى وأهم الملامح الأرضية المرتبطة به، فبعد أن أسر رافد النهر (أ) المنابع العليا للنهر (ب) حدث أن ضمر الجزء المأسور captured من النهر الأخير وانكمش بشكل واضح لا يتناسب مع حجم واديه الأصلى، ووجود هذا النهر الضامر يدل بلا شك على حدوث أسر فى أعالى الأنهار أو فى مناطق ما بين الأودية.

ومن الملاحظ أن النهر (أ) وهو الأسر أسرع وأكثر انحدارًا وأكبر عمقًا من النهر (ب) يرتبط بذلك أيضًا غزاوة الأمطار على الجانب الذى ينحدر فوقه النهر (أ) وربما أيضًا تكون صخوره أكثر ليونة أو تقطعًا بفعل الشقوق والصدوع مما ساعده فى التراجع السريع نحو النهر المأسور.

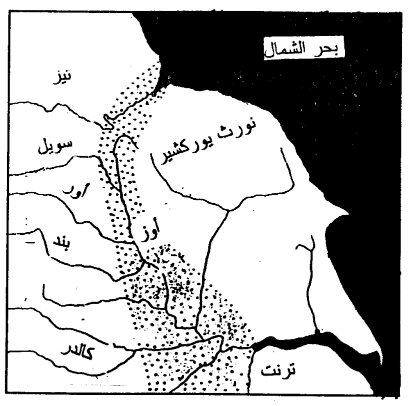
ويوضح الشكل (٧٠) جـــــزءًا من خريطة كنتورية تبين أكـواع الأسر النهـرى elbows of capture قرب هولسبرج بولاية تنســى الأمــريكيــة يلاحــظ منهـــا أن الــوادى (أ) والــوادى (ب) يتجــهان عكس اتجاه النهر الآسر.



شكل رقم (٦٩ ب)



شكل رقم (٧٠)



شكل رقم (٧١)

كما يوضح الشكل رقم (٧١) أسر نهرى فى منطقة يوركشير حيث أسر نهر أووز ouse روافده على طول مكاشف طبقات ترياسية لينة مع امتداد أنهار أور ونيد nidd وورف وكالدر كأنهــار تابعة consequent rivers فى منابعها الـعليا، ومعنى ذلك أن اتجاه جريانها يتمشى مع ميل الطبـقات شرقًا على هذا الجانب من محدب «بنين» وكان يمكـنها الاتجاه مـباشرة نحـو البحر ولكن حـدث أن نحت نهر أووز مجراه نحتًا صاعدًا فى صخور أقل مقـاومة للتعرية وأسر الأنهار سابقة الذكر وهو كما نرى من الخريطة نهرًا تاليًا subsequent يمتد فى موازاة مضرب الطبقات.

وعادة ما تكون الأنهار الرئيــسية أنهار تابعة تمشى مع ميل الطبقـات الرئيسية بينما تمشى الروافد الرئيسية فى تعامد معها، بينما توجد روافد ثانوية قد تمتد عكس ميل الطبقات فتسمى عكسية أو تمشى فى موازاة النهر الرئيسى التابع.

التحليل المورفومترى لشبكة التصريف النهرى

(مع بعض القياسات الخاصة بقناة النهر)

يقصد بالتحليل المورفومترى morphometric analysis ذلك التحليل الجيومورفولوجى لسطح الأرض الذى يعتمد على الأرقام والبيانات المأخوذة من الخريطة الكنتورية والصور الجوية والفضائية بجانب ما يستمد من الدراسات والقياسات الحقلية للأشكال المراد تحليلها ودراستها مثل حوض التصريف النهرى لقطاع بساحل ما أو حافة جبلية أو مجموعة من الكثبان الرملية أو ثلاجة جليدية وغير ذلك من أشكال أرضية متنوعة.

والواقع أن وسائل التحليل المورفومترى قد بدأت تأخذ مكانًا هامًا فى الدراسات والبحوث الجيومورفولوجية المختلفة وتحل بشكل سريع محل وسائل وأساليب الوصف التقليدية وخاصة فيما يختص بتحليل شبكات التصريف النهرية والسفوح وأحواض الأنهار وأشكال الإرساب الرملى والأشكال الساحلية والعمليات المؤثرة فيها.

ويتعرض هذا الجزء بإيجاز لبعض وسائل التحليل المورفومترية الخاصة بشبكة التصريف النهرية بهدف تسهيل عملية تصنيفها تصنيفًا نوعيًا والمساعدة فى معرفة العلاقة بين أحواض التصريف وقنواتها المائية (شبكة المجارى) ومعرفة إمكانية المقارنة بين أحواض التصريف المختلفة بالاعتماد على طرق موضوعية وأساليب كمية quantitative means أشارت إلى معظمها أغلب الدراسات والبحوث الأجنبية والعربية،ويأمل المؤلف أن يكون فيما يجىء بهذا الجزء من معلومات مفيدًا بالنسبة لدارسى الجغرافيا خاصة مع اهتمامه بالتطبيق على أحواض أودية بصحراء مصر الشرقية والجزيرة العربية قد تمت دراستها فى فترات سابقة من قبل المؤلف.

تركيب النظام النهرى :

من الأمور الهامة فى دراسة تركيب النظام النهرى ما يتمثل فى معالجة خصائص حوض التصريف النهرى ودراسة شبكات القنوات النهرية التى تجرى داخل هذا الحوض وكذلك منطقة تقسيم المياه التى تحيط به فاصلة بينه وبين غيره من أحواض التصريف النهرية الأخرى المجاورة.

والحقيقة أن تنظيم شبكة القنوات النهرية ذات أهمية كبرى وذلك بسبب كونها تعكس كفاءة خطوط التصريف المائية الرئيسية فى نقل كل من المادة والطاقةmatter and energy التى تتدفق كل منها داخل نطاق حوض التصريف النهرى drainage basin system عبر حدوده كنظام طبيعى مفتوح يتبادل طاقته ومواده مع غيره من النظم مع الأخذ فى الاعتبار أن هذه الشبكة النهرية تمثل مسالك للطاقة والمادة داخله ، كما أن العديد من الخصائص المورفولوجية للحوض النهرى (حجمه وطول قنواته وعددها وكثافة التصريف وتضرس الحوض إلخ) يمكن أن ترتبط ارتباطًا مباشرًا بالخصائص الهيدرولوجية مثل تصرف الماء من الحوض والفيضانات وما يرتبط بها من آثار إلخ.

وكما نعرف فإن منطقة الحوض النهرى توجد بها مجموعة من الخصائص properities التى يمكننا قياسها بهدف المساعدة على تحديد خصائص الشبكة وخصائص الحوض وأبعاده المختلفة. ويوضح الجدول التالى رقم (٤) بعضًا من هذه الخصائص والمتغيرات المورفومترية لحوض التصريف النهرى.

وعادة ما يظهر التحليل الإحصائى أن أغلب التباين فى القياسات المورفومترية لأحواض التصريف النهرى ترجع أساسًا إلى اختلاف مساحة الحوض ومجمل أعداد القنوات المائية به ومعدل التضرس الكلى للحوض total relief وتكرار الرتب وغير ذلك.

فقد ظهر أن هناك ارتباطات قوية بين المتغيرات التالية :

أ - ارتباطات بين كل من مساحة الحوض ومجموع أطوال القنوات المائية فى كل رتبة ومتوسط أطوالها فى الرتبة الواحدة .

ب - وجود ارتباط بين كل من العدد الكلى للقنوات المائية وعدد القنوات فى كل رتبة.

جـ - ارتباط بين تكرار القنوات channels frequency وكثافة التصريف ونسبة التضرس والتضرس الكلى للحوض النهرى.

د - التضرس الكلى للحوض والتضرس المحلى لجانبى الوادى.

وقد أضاف ملتون Melton 1958 زاوية السفوح الجانبية ورقم الوعورة واعتبرهما من العناصر الأساسية الهامة فى نظام حوض التصريف، حيث

جدول رقم (٤) المتغيرات المورفومترية لأحواض التصريف النهرية

المتغيــر	الرموز وشكل المعادلة
أولاً ـ هندسة الحوض:	B.G (Basin Geometry)
١ـ مساحة الحوض	AU
٢ـ طول الحوض	LB
٣ـ عرض الحوض	BR
٤ـ محيط الحوض	BP
٥ـ استدارة الحوض	مساحة الحوض بالكم٢ (AU) ÷ مساحة دائرة تتساوى مع نفس الحوض فى طول المحيط.
٦ـ استطالة الحوض	قطر دائرة مساوية لمساحة الحوض بالكم٢ ÷ طول محيطه
٧ـ شكل الحوض	مساحة الحوض بالكم٢ ÷ مربع طول الحوض بالكم
٨ـ معامل الاندماج	محيط الحوض بالكم ÷ محيط دائرة تكافئ مساحتها مساحة الحوض بالكم٢
ثانيًا ـ قياس الارتفاعات:	
١ـ التضرس الكلى	أعلى نقطة فى منطقة تقسيم المياه ـ أدنى نقطة عند المصب H= Z-Z
٢ـ معامل التضرس	الفارق التضاريسى (التضرس الكلى÷ طول الحوض بالمتر Rh=H/lb)
٣ـ التضاريس النسبية	التضرس الكلى بالمتر ÷ محيط الحوض بالمتر× ١٠
٤ـ قيمة الوعورة	$\frac{\text{التضرس الكلى بالمتر × الكثافة التصريفية كم/كم٢}}{\text{محيط الحوض}}$
٥ـ دليل التضرس	CM = Htan Q حيث إن H يمثل ارتفاع المنطقة tan O يمثل ظل زاوية متوسطة الانحدار داخل الحوض[1]
٦ـ معامل انحدار السطح	ظا ح= ف×ع÷٣٣٦١ (رقم ثابت) حيث إن ظا ح= ظل زاوية الانحدار وف= الفاصل الرأسى بين خطوط الكنتور محسوبًا بالأقدام وع= عدد الكنتورات التى تمر بخطوط القطاعات فى كل ميل واحد وتعرف هذه المعادلة بمعادلة Wentworth Equation

(١) استنتج فورنيه دليل التضرس والذى إذا بلغ أقل من ٦ فيعنى ذلك أن النهر وحوضه يوجدان فى منطقة ذات مناخ معتدل،أما إذا زاد عن ٦ كان يوجد فى مناطق مدارية وشبه مدارية.

تمثل جوانب الوادى النهرى مصدرًا أساسيًا لرواسبه بجانب كونها مصدرًا لجزء من مياهه.

كذلك حدد كل من (Hack, Jand Goodlett 1960) خمسة أنواع من هذه السفوح وأبرزا مدى تأثير كل نوع منها على النهر وروافده داخل الحوض، يمكننا أن نوجزها فيما يلى :

١ ـ البروز أو الأنف nose : تعد أجف المناطق وتبدو كنتوراتها من الخريطة محدبة فيما يشبه البروزات الجبلية spurs .

٢ ـ السفح الجانبى: (سفح الجانب) تأخذ كنتوراته الشكل المستقيم وتستقبل مياهها من الأنف أو البروز وعادة ما تكون أكثر رطوبة منها وعادة ما يأخذ الجريان السطحى نمطًا خطيًا linear patten على طول السفح.

٣ ـ الثغرات gaps: تظهر بها خطوط الكنتور مقعرة مع تباعدها باتجاه القناة النهرية وهى أكثر أنواع السفوح رطوبة.

٤ ـ أقدام السفح وهو الجزء السفلى الأقل انحدارًا على طول جانبى قناة النهر وعادة ما يتكون سطحه من مفتتات صخرية.

٥ ـ قاع الوادى الذى يجرى فيه النهر.

وفيما يلى دراسة تفصيلية للخصائص المورفومترية للحوض النهرى:

قبل التعرض للخصائص المورفومترية لحوض التصريف النهرى يجدر بنا أن نذكر هنا بعض المتغيرات المرتبطة به على النحو التالى :-

مساحة الحوض النهرى AU :

تتمثل أهمية مساحة الحوض النهرى كمتغير مورفومترى فى تأثيرها على حجم التصريف المائى داخل الحوض، حيث توجد علاقة طردية بين كل من المساحة الحوضية وحجم التصريف المائى بشبكة التصريف النهرى، ويمكن حساب مساحة الحوض من الخريطة الكنتورية بواسطة عدد من طرق القياس مثلها فى ذلك مثل غيرها من الظاهرات الجيومورفولوجية مثل البحيرات والجزر والحواجز البحرية والدالات النهرية والمراوح الفيضية واللاجونات والسبخات والمنخفضات الصحراوية وغيرها.

ومن طرق قياس المساحات طريقة القياس بالبـلانيميتر الذى يعد من الأجهزة وسهلة الاسـتخدام ودقـيقـة النتائج، على أن يتم القـياس به عدة مـرات ثم أخذ متوسط الـقياسات (عاشـور، ١٩٨٣، ص١١٧)، وتوجد وسيلة تقليدية لـلقياس تتمثل فى تقـسيم الحوض النهرى المراد قـياس مساحته عـلى الخريطة إلى عدد من المربعات أو المثلثـات ثم القيام بحسـاب مساحة كل مربع أو كل مـثلث على حدة وبالتالى يمكن حساب مساحة الحوض ككل.

ومن الوسائل الحـديثة لقياس المسـاحات القلم المتتـبع الإلكترونى digitizer الذى يعد من أكثر وسـائل قياس المساحات دقة وسرعة رغم تكلفـته العالية (جودة وزملاؤه، ١٩٩١، ص٢٩١). وتوجد وسيلة أخرى تعـتمد على قص المنطقة المراد قياسها من الخـريطة المرسومة على ورق الكلك ثم القيام بوزنها وحساب مـساحتها بعد ذلك مع الأخـذ فى الاعتبـار أهمية الدقـة فى هذه الوسيلة والتأكـد من ثبات كثافة الورق فى كل أجزاء الخريطة.

عرض الحوض Basin Width :

يتم قياسه عن طريق القيام بعمل خطوط متوازنة من المصب إلى المنبع وأخذ قياسات لكل منها وإيجاد متوسط عرض الحوض، ويمكن الحصول عليه كذلك من خلال قـسمـة مسـاحة الحـوض على طوله ويمكننا الحصـول على أقصـى عرض للحوض وهو بالـطبع طول خط من الخطوط المتوازية سابـقة الذكر. ويفـيدنا هذا المتغير فى تحديد شكل الحوض من خلال النسبة بين الطول إلى العرض الحوضى.

طول الحوض Basin Length :

يمثل أحد المتـغيرات المورفومـترية الهامة التى ترتبط بالعـديد من الخصائص الأخرى الخاصة بحـوض التصريف ويحدده Schumm بخط يمتد فـيما بين نقطة المصب النهرى وأعلى نقطة فوق منطقة تقسيم المياه بأعالى النهر.

كما يرى Maxwell 1960 بأنه يمكن تحـديد طول الحوض من خلال قـياس طول خط مواز للقناة الرئيسية حتى نقطة تنصف الحوض.

محيط الحوض :

يرتبط محيط الحوض كمتغير مورفومترى بالعديد من الخصائص المورفومترية الأخرى مثل شكل الحوض واستطالته واستدارته، ويعد فى الواقع من أيسر المتغيرات فى قياسه سواء بواسطة عجلة القياس أو المقسم divider أو بواسطة طريقة الخيط التقليدية.

أما عن خصائص الحوض المورفومترية فعادة ما ترتبط بشكله وتضاريسه ويمكننا إيجازها فيما يلى:

أ ـ شكل الحوض :

تفيد دراسة شكل الحوض فى تفهم التطور الجيومورفولوجى له ، والعمليات التى شكلته إلى جانب تفهم تأثير الشكل على حجم التصريف النهرى وبالتالى على تحديد درجات أخطار الفيضانات.

ويتم قياس شكل الحوض من خلال مقارنته بالأشكال الهندسية الشائعة مثل الدائرة والمستطيل والمربع، وكذلك من خلال دراسة الشكل العام له ـ للحوض ـ من حيث الاندماج أو الانبعاج، ومن خلال قياس النسبة بين طوله وعرضه مع الأخذ فى الاعتبار إمكانية تطبيق مثل هذه الخصائص على الظاهرات الجيومورفولوجية الأخرى.

وفيما يلى إيجاز لبعض المعاملات الجيومورفولوجية الخاصة بدراسة شكل الحوض :ـ

١ ـ معامل الشكل Form Factor :

يمكن الحصول عليه من خلال قسمة مساحة الحوض بالوحدة المساحية المربعة على مربع طول الحوض بنفس وحدة القياس. ويدل انخفاض قيمة ناتج القسمة على صغر مساحة الحوض بالنسبة لطولها مما يجعله ـ أى الحوض النهرى ـ يقترب من شكل المثلث، حيث يشير هذا المعامل إلى كل من الطول والعرض بالنسبة لمساحة الحوض.

وتأخذ هذه العلاقة الشكل التالى $F = A + L_b^2$ [١]

حيث إن A تمثل **مساحة الحوض** basin area وتمثل L **طول نفس الحوض**.

---

(١) L_b^2 يقصد بها الخط المستقيم الممتد من نقطة المصب حتى أبعد نقطة على منطقة تقسيم المياه.

٢ ـ معامل الاستدارة للحوض النهرى Basin Circularity (R_c) :

يتم حسـابه من خلال قسـمة مساحـة الحوض بوحدة مساحية مـربعة على مسـاحة دائرة لها نفس المحيط الحـوضى، ويعنى ارتفاع قيـمة ناتج القسمـة باتجاه الواحد الصحيح اقتراب شكل الحوض من الدائرة وعكس ذلك كلما ابتعدت عنه. ويعنى ابتعـاد الحوض عن الشكل الدائرى أنه غير منتظم الأبعـاد مع تعرج خطوط تقسـيم المياه التـى تحده (شكل حـدوده) مما يؤثر بالتالى على طول القنوات المـائية وخاصـة تلك التى تقع منها فى الرتب الأولى والثـانية first and second orders قرب المنبع (سلامة، ١٩٩١، ص٦).

٣ ـ استطالة الحوض Basin longation (E) :

يمكن الحصول عـليه من خلال حساب النسـبة بين قطر دائرة diameter of circle مساوية لمساحـة الحوض بوحدة قياس معـينة إلى أقصى طول للحوض L_b ويتراوح الناتج بين صفر وواحد صحيح ويكون الحوض أقرب إلى الشكل المستطيل إذا ما اقترب الرقم الناتج مـن الواحد الصحيح[١] وقد طبق المؤلف هذه المعادلات على عدد من أحواض الأودية الجافة بصحارى مصر وهضـبة نجد ومرتفعات عسير كما سوف يتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد.

٤ ـ نسبة الطول (طول الحوض) إلى عرضه Lenth/ Width Ratio :

تعد من أبسط المعـاملات المورفومترية الخـاصة بقياس مـدى استطالة حوض النهر ، ويدل ارتفاع قيم هذه النسبة على اقتراب شكل الحوض من المستطيل وذلك وفقًا لما ذكره Muller 1974. مع الأخذ فى الاعتبار تماثله مع معامل الاستطالة فى ذلك وإن كانت زيادة القيم هنا تشير إلى الاقتراب من الشكل المستطيل ، بينما فى معـامل الاستطالة تدل القـيم المنخفضـة (المقتربة من الـصفر) على الاقـتراب من المستطيل.

---

(١) قطر الدائرة التى تتساوى مع مساحة الحوض = $٢\sqrt{\text{مساحة الحوض} \times \frac{٢٢}{٧}}$

٥ ـ معامل الاندماج Compactness Coefficient :

يمكننا الحصول عليه من خلال قسمة طول محيط الحوض perimeter le-ngth مقاسًا بوحدة قياس معينة على محيط الدائرة التى تتساوى مساحتها مع مساحة هذا الحوض، ويعنى ذلك أن الشكل يقاس بدلالة محيط الحوض كأساس للقياس (جودة وزملاؤه، ص٣٢). والمقارنة بدلالة المساحة الحوضية، وتشير القيم المنخفضة لهذا المعامل إلى أن حوض التصريف النهرى قد قطع شوطًا أطول فى مراحل تطوره الجيومورفولوجى ، بينما تدل قيمه المرتفعة على زيادة طول محيطه على حساب مساحته أو بمعنى أبسط وأوضح أن محيط الحوض يكون شديد التعرج وبالتالى يكون شكله أقل انتظامًا.

ب ـ تضرس الحوض النهرى :

تبرز أهمية تضرس الحوض النهرى باعتبار ذلك يمثل انعكاسًا لزيادة فعالية ونشاط عمليات التعرية وأثرها فى تشكيل سطح الأرض داخل حدود الحوض ، كما يعد كذلك انعكاسًا لأثر أنواع الصخور وخصائصها البنيوية والليثولوجية.

١ ـ معامل التضرس Relief Ratio :

يتم الحصول على معامل التضرس من خلال قسمة تضاريس الحوض (الفرق بين أعلى نقطة داخل الحوض وأدنى نقطة)[1] إلى طول الحوض، وتتناسب قيمة هذا المعدل تناسبًا طرديًا مع درجة تضرس الحوض وفقًا لما ذكره Schumm .

٢ ـ التضاريس النسبية Relative Relief :

يمكن الحصول عليها من خلال قسمة تضاريس الحوض على محيطه بالكيلومتر × ١٠ وتوجد علاقة ارتباطية سالبة بين التضاريس النسبية ودرجة مقاومة الصخور لعمليات التعرية وذلك مع حالة ثبات الظروف المناخية (جودة وزملاؤه، ص٣٢٤).

٣ ـ معامل انحدار السفح Average Slope :

يأخذ شكل القانون التالى :ـ

ظا ح = ف × ع + ٣٣٦١ (رقم ثابت).

(١) عادة ما تكون الأولى عند منطقة تقسيم المياه والثانية عند نقطة المصب.

ويقصـد بمعدل انحدار السـفح المتوسط العـام لانحدار سطح الأرض داخل الحوض النهرى بالنسبة للمستوى الأفقى للسطح، ويمكن الحصول عليه برسم عدد من الخطوط القطاعية داخل الحوض أو أيه منطقة أخرى وذلك فى اتجاهات مختلفة بالخريطة الكنتورية ،ثم يـتم بعد ذلك حصر عدد خطوط الكنتـور التى تقطعها ثم يتم إيجاد متوسط انحدار السطح وفقًا لقانون wentorth سابق الذكر (أبو العينين، ١٩٧٦، ص٧٢).

٤ ـ معدل ارتفاع المنطقة الحوضية Elevation Relief Ratio :

يمكننا من خلال تطبيق هذا المعدل الحصول على نـسبة مساحة كل جزء من أجزاء المنطقة سواء كانت جبلية أو هضبية أو سهلية إلى جملة المساحة، ويتم ذلك من خلال الخريطة الكنتورية باسـتخدام البلانيميتر. ويمكن معـرفة معدل الارتفاع كذلك عنـد تحديد متـوسط ارتفاع المنطقـة وطبيـعة سطحـها المحلى وذلك وفـقًا للمعادلة التالية

$$\text{م ع} = \frac{\text{م} - \text{أ}}{\text{ض}}$$

حيث م ع = معدل الارتفاع.

ض = التضرس الكلى (الفارق بين أعلى نقطة وأدنى نقطة).

م = متوسط ارتفاع المنطقة.

أ = أدنى نقطة بالمنطقة.

ثانيًا ـ الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف المائى بالأحواض النهرية :

يعد الشـكل العام لروافد النـهر بروابتهـا المختلفـة داخل الحوض نتـاجًا أو انعكاسًا للعـلاقات بين خصائص صـخور المنطقة وأشكالها الـتركيبيـة من جانب وظروف المناخ الحالى والقديم مـن جانب آخر، حيث تعكس خصـائص الصخور من حيـث درجة النفاذية والـصلابة hardness والانحـدار العام للسطح والصـور التركـيبـية من صـدوع وفواصل وقـواطع وشقوق وغـيرها ، ويـبرز أثر كل تلك الخصائص فى تـعـديـل المظهر الـعـام لشكل التـصـريـف النـهـرى وتحديد نشاط أوديته بالإضافـة إلى درجة التطور الجيومورفـولوجى لحوض الوادى (أبو العينين، ص ص٤٣٦ـ ٤٥٣).

ويتم قياس خصائص التصريف النهرى من خلال حساب معدلات التفرع أو التشعب bifurcation ratios التى تظهر أهميتها فى ارتباطها بمعدلات التصرف حيث توجد علاقة بين حجم التصرف volume ومعدل التفرع فكلما قل التشعب زاد خطر الفيضانات عقب حدوث عواصف سيلية أو عند زيادة الوارد للنهر من منابعه العليا.

ويوضح الجدول التالى رقم (٥) عددًا من المتغيرات الهامة المرتبطة بشبكات التصريف المائى داخل حوض النهر والتى يمكن من خلالها تفهم أبعادها وخصائصها وعلاقاتها ببعضها البعض وإبراز العديد من الخصائص المورفومترية والمورفولوجية للنهر وروافده داخل الحوض.

١ ـ معدل التفرع (التشعب) Bifurcation Ratio :

يقصد به النسبة بين عدد القنوات المائية لرتبة ما وبين عدد القنوات المائية للرتبة التى تليها مباشرة. ويعد معدل التشعب من المقاييس المورفومترية الهامة نظرًا لأنه يعتبر أحد العوامل التى تتحكم فى معدل التصرف discharge إلى جانب أنه كلما زاد معدله (أى التشعب) زاد خطر الفيضان.

ويعتمد أسلوب تحليل شبكة التصريف المائى على ترتيب الروافد المائية بشكل «هرمى» حيث تتألف مجارى الرتبة الأولى من مسيلات أو روافد صغيرة تليها رتبة أعلى وأكثر طولا واتساعًا (الرتبة الثانية) وهكذا، وتوجد أساليب مختلفة لترتيب المجارى المائية داخل أحواضها من أكثرها شيوعًا واستخدامًا طريقة شتلر (Strahler, 1975).

يتضح لنا من الجدول التالى رقم (٦) والشكل رقم (٧٢) أن عدد روافد وادى بيشة الأعلى ٥٩ رافدًا من الرتب الأولى والثانية والثالثة يبلغ مجموع أطوالها ٤٧٤ كيلومتر يبلغ مجموع روافد الرتبة الأولى ٤٥ رافدًا ومجموع أطوالها ٤٥٠ كيلومتر بمتوسط طول عشرة كيلومترات، ويبلغ عدد روافد الرتبة الثانية ١١ رافدًا بمجموع أطوال ٢٠ كيلومتر ومتوسط الطول ١,٨ (صبرى محسوب، ١٩٨٧، ص٢٩).

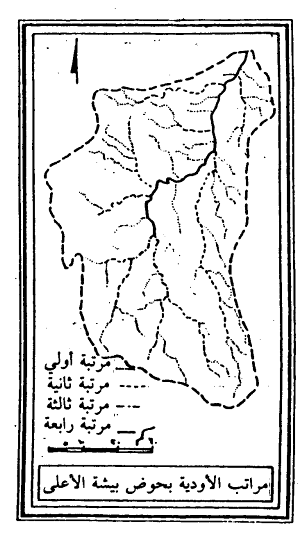
جدول رقم (٥) عدد من المتغيرات المورفومترية لشبكة التصريف النهرى

المتغير	الرمز أو شكل المعادلة
أولاً - شبكة التصريف	
١- رتبة النهر	U (م)
٢- عدد المجارى فى الرتبة	Nu (ع م)
٣- نسبة التشعب	س ن = ع م ÷ ع م + ١
٤- مجموع أطوال المجارى فى الرتبة	
٥- متوسط طول المجارى فى الرتبة	
ثانياً - كثافة التقطع	**Density of Dissection**
١- الكثافة التصريفية	= مجموع أطوال المجارى ÷ المساحة الكلية لحوض النهر، فمثلاً إذا ما بلغت الكثافة ١٥ فمعنى ذلك أن هناك ١٥ كم من المجارى لكل كم٢ من مساحة الحوض
٢- نسيج الحوض	(أو نسبة التقطع الطوبوغرافى = طول أكثر الكنتورات تعرجًا ÷ طول محيط الحوض
٣- تكرار القنوات أو المجارى	= عدد المجارى فى الرتبة ÷ مساحة الحوض
ثالثًا - مقاييس أخرى	
١- دليل التضفر	Braiding Index (BI) يأخذ الشكل التالى BI = 2I/M حيث إن (BI) يمثل دليل التضفر و I = مجموع أطوال الجزر الصخرية داخل المجرى و M = طول المجرى مقاسًا من منتصف المسافة بين جانبيه
٢- معامل التعريج	= الطول الفعلى بين نقطتين ÷ طول الخط المستقيم بين نفس النقطتين، ويستخدم هذا المعامل فى قياس قطاعات الأنهار أو خطوط الشاطئ وغيرها وذلك لإبراز درجة التعرج بحيث إنه كلما زادت القيمة الناتجة عن واحد صحيح دل ذلك على زيادة التعرج.
٣- معدل أو نسبة التقطع	= مجموع مجارى الأودية لكل الرتب ÷ محيط الحوض بالكم. وتقسم إلى ٣ درجات أ- خشنة أقل من ٤ ، ب - متوسطة ٤-١٠ ، ج - ناعمة أكثر من ١٠

جدول رقم (٦) معدل التشعب بحوض وادى بيشة الأعلى

الرتبة	طول الوادى بالكم	عدد كل رتبة	معدل التشعب	العدد لكل رتبتين	النسبة × العدد	متوسط أطوال الأودية بالكم
١	٤٥٠	٤٥	٤,٩	٥٦	٢٧٤,٤	١٠
٢	٢٠	١١	٣,٦٦	١٤	٥١,٢	١,٨
٣	٤	٣	٣	٤	١٢	١,٣
٤	٧	١				٧
المجموع	٦٠				٣٣٧,٦	

من قياسات المؤلف



مراتب الأودية بحوض بيشة الأعلى

شكل رقم (٧٢)

ويقل عدد الرتبة الثالثة إلى أربعة فقط بمتوسط طول ١,٣ كيلومتر ويبلغ طول الوادى الرئيسى حتى خط عرض ١٩ْ ش سبعة كيلومترات، ويبلغ معدل التشعب بين هذه الرتب على التوالى ٤,٩ - ٣,٦٦ و ٣ فقط.

وطبقًا لقانون Strahler فإن معدل التشعب لحوض وادى بيشة الأعلى يبلغ ٤,٥٦ وذلك نتيجة قسمة نسب التشعب فى العدد وقدره ٣٣٧,٦ ÷ مجموع العدد لكل رتبتين وقدره ٧٤.

ويمكننا من الأرقام الواردة بالجدول السابق أن نخرج بالملاحظات التالية :

- بينما يبلغ متوسط طول مجارى الرتبة الأولى ١٠كم نجد أن متوسط طول الرتبة الثانية ١,٨ كيلومتر فقط والرتبة الثالثة ١,٣ كيلومتر ويبلغ طول الوادى الرئيسى (الرتبة الرابعة سبعة كيلومترات).

- يرجع السبب فى زيادة أطوال روافد الرتبة الأولى إلى شدة تعرجها حيث تلتف حول الكتل الجبلية إلى جانب أن بعضها يمتد خلال خطوط صدعية طويلة نسبيًا.

٢ ـ كثافة التصريف Drainage Density :

تبدو أهميتها فى كونها تعبر عن أثر كل من نوع الصخر ونظامه والتربة والتضاريس والغطاء النباتى ، كما يظهر كذلك أثر الإنسان على شبكة التصريف النهرية.

وفيما يلى بعض المقاييس التى تستخدم فى التعبير عن درجة كثافة التصريف:

أ ـ الكثافة التصريفية :

تمثل العلاقة بين أطوال القنوات النهرية والمساحة التجميعية لأحواضها، فعندما تزداد أعداد وأطوال القنوات المائية تقل درجة انحدار سطح الأرض داخل الحوض، ويمكننا من خلال هذا المعامل أن نتفهم جيدًا نمو وتطور نظم التصريف بالحوض النهرى (أبو العينين، ص٤٥٥).

ويتم حساب الكثافة التصريفية وفقًا للقانون الآتى:

الكثافة التصريفية = مجموع أطوال الأودية بالحوض ÷ مساحة الحوض وبالتطبيق على الحوض الأعلى لوادى بيشة بلغت قيمتها ٨, وهى كثافة أقل قليلا

من المتوسط وفقًا لـ Horton الذى يرى أن الكثافة التصريفية ترتفع إلى ٢٤,١كم/كم٢ فى المناطق المتضرسة ذات الصخور الصماء والمطر الغزير ، بينما تنخفض فى المناطق التى تجرى فيها الأنهار فى صخور عالية النفاذية. ووادى بيشة فى الواقع يمتد فى منطقة صخور نارية ومتحولة ومتضرسة، ورغم عدم مساميتها إلا أنها تكثر بها الفواصل والشقوق وكما أن الأمطار أقل من ٥٠٠ ملليمتر فى السنة ومن ثم فإن كثافته التصريفية البالغة ٨,كم/كم٢ كثافة متوسطة تعكس ظروف البنية والتضاريس ومناخ عسير.

ب ـ تكرار المجارى :

يتم خلاله قياس النسبة بين أعداد القنوات المائية داخل الحوض ـ بصرف النظر عن طولها ـ والمساحة الحوضية ويعد بذلك واحدًا من المقاييس التى تظهر كثافة التصريف.

جـ ـ معدل بقاء المجارى :

اقترحه شم Shumm للدلالة على متوسط الوحدة المساحية اللازمة لتغذية الوحدة الطولية الواحدة من قنوات شبكة التصريف بمعنى أنه كلما كبرت قيمة النتائج دل ذلك على اتساع المساحة الحوضية على حساب قنوات مائية محدودة الطول.

وتأخذ المعادلة الصورة التالية :

$$\text{معدل بقاء المجرى} = \frac{\text{المساحة الحوضية}}{\text{مجموع أطوال المجارى}} = \frac{1}{\text{الكثافة التصريفية}}$$

أى أن معدل بقاء المجرى أو القناة المائية تحسب كمقلوب جبرى للكثافة التصريفية.

٣ ـ التباعد بين القنوات المائية :

تتأثر درجة تباعد القنوات المائية داخل الحوض بخصائص الصخور من حيث الصلابة وكثافة الشقوق والفواصل وخطوط الصدوع داخل حوض النهر، وتظهر

المعادلة الدالة على درجة التباعد أو المسافة بين القنوات داخل الحوض فى الصورة التالية :-

متوسط المسافة بين القنوات = جا ٤٥ × $\frac{\text{س}}{\text{ع}}$

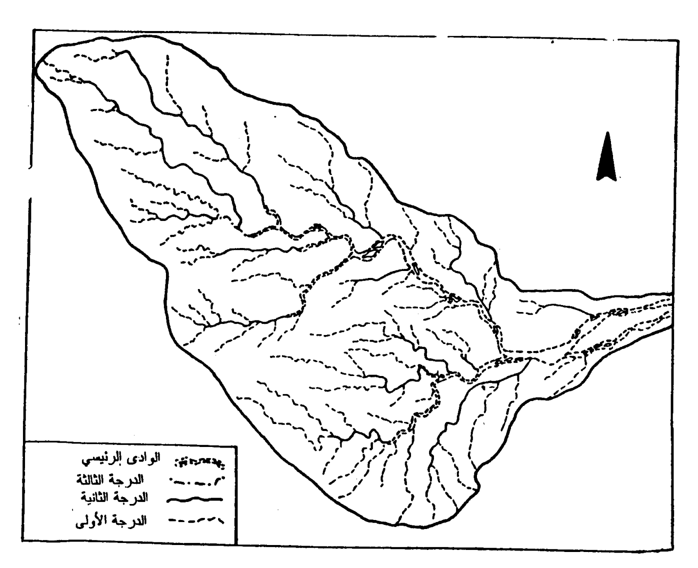
حيث إن س هو الخط المرسوم على الخريطة بحيث يقطعه أكبر عدد من القنوات المائية (الروافد) و ع هو عدد القنوات التى تقطعه وكلما زاد الناتج دل ذلك على قلة عدد القنوات وتباعدها داخل الحوض والعكس مع انخفاض ناتج المعادلة.

وهناك مقاييس مورفومترية أخرى مثل مقياس زوايا التقاء الروافد ببعضها البعض ، والتى تتحكم فيها خصائص التركيب الصخرى للحوض النهرى، وأسهل طريقة لقياسها تتمثل فى قياسها من خلال مد خط مستقيم من نقطة الالتقاء حتى نهاية الرافد بغض النظر عن انثناءاته.

أمثلة تطبيقية لبعض القياسات المورفومترية على أحواض أودية جافة :

أ- حوض وادى لبن شكل رقم (٧٣) :

يمتد إلى الشمال الغربى من مدينة الرياض ويعد رافدًا لوادى حنيفة من الجهة الغربية منحدرًا من حافة جبل طويق بالنظر إلى الجدول التالى رقم (٧) نجد أنه مكون من أربع رتب عددها تسعون واديًا ومجموع أطوالها ١٩٠كيلومتر، وهى من الأولى حتى الرابعة ٧٣ - ١٤ - ٢ - ١ ونسب التفرع بالترتيب ٥,٩٣ - ٧ - ٢ ويبلغ معدل التفرع به ٥,٩٨ وهو معدل مرتفع نسبيًا، كما يلاحظ من متوسط أطوال الأودية أن التدرج فى الطول من المرتبة الأولى إلى الثالثة يتميز بالسرعة ثم يتباطأ من الثالثة إلى الرابعة، فمتوسط أطوال المرتبة الأولى ١,٧ كيلومتر والثانية ٣,٦ ويصل فى الثالثة إلى ٦,٥كم ثم يقل ليصل فى الرابعة إلى خمسة كيلومترات فقط وهو فى ذلك يشبه الكثير من أودية هضبة نجد لتشابه الظروف المناخية والليثولوجية بالمنطقة ككل.



شكل رقم (٧٣) حوض وادى لبن

جدول رقم (٧) نسبة التشعب بوادى لبن

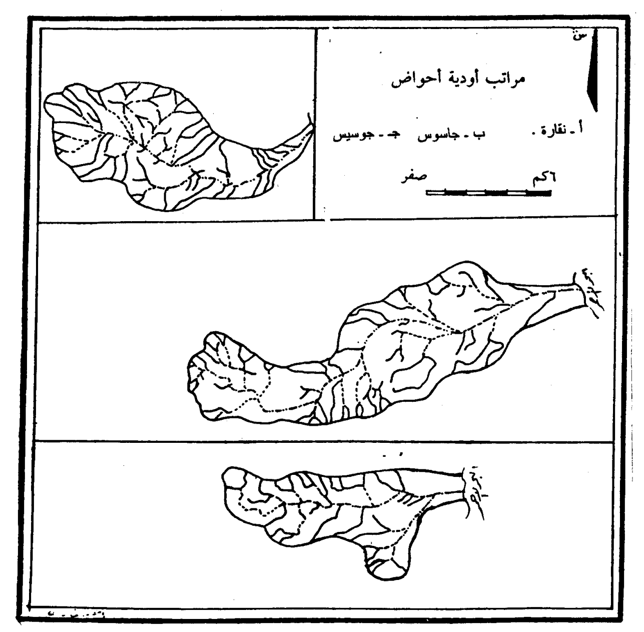
رتب الأودية	طول الأودية	العدد لكل درجة	نسبة التفرع	العدد لكل درجتين	النسبة × العدد	متوسط أطوال الأودية	مجموعة متوسطات الأودية
١	١٢٥		٥,٩٣	٨٧	٥١٥,٩	١,٧	٥,٣
٢	٥٠		١٧	١٦	١١٢	٣,٦	٨,٩
٣	١٣	٢	٢	٣	٦	٦,٥	١٥,٤
٤	٥	١		-	-	٥	٢٠,٤
	١٩٣	٩٠		١٠٦	٦٣٣,٩		

المصدر : قياسات وحسابات المؤلف ١٩٨٧

وتبلغ نسبة التقطع بالحوض ٤,١[1] وهو يماثل نظيره فى الأودية الأخرى بهضبة نجد أو قريب منها ، كما تبلغ كثافة التصريف المائى ١,٥ وهى منخفضة للغاية بسبب الظروف المناخية الجافة السائدة بهضبة نجد بصفة عامة وانخفاض سطح الحوض. وبالنسبة لمؤشر التعرج الطوبوغرافى للوادى الرئيسى فإنه يصل إلى ١,٢٤ ويرجع ذلك إلى اقتراب الوادى الرئيسى من مرحلة النضج مع امتداده على أرض منخفضة قليلة الانحدار مما أعطاه فرصة للتعرج كما يتضح من الشكل (٧٣).

وبتطبيق معامل الاستدارة على وادى لبن وجدت القيمة ٩, وهى نسبة تدل على قرب شكله من الدائرة بينما تصل استطالته إلى نحو ٦, فقط.

(١) معدل منخفض (أقل من ٤) مما يدل على الخشونة.



شكل رقم (٧٤)

ومع تطبيق معامل التضرس لشم Schumm نجده قد بلغ فى وادى لبن ١٨,٧ مما يدل على تضرسه وكثرة التلال المنعزلة داخل الحوض. أما عن التضرس النسبى فى الحوض فيبلغ ٦ وهى قيمة متوسطة بسبب كثرة نقط التقطع (نقط تغير الانحدار) قرب المنبع والتى قد يرجع وجودها إلى التكوينات الصخرية الصلبة التى تظهر فى مجرى الوادى والتى لم يستطع إزالتها أو أن يعمق مجراه خلالها.

٢ ـ أودية نقارة وجاسوس وجوسيس بصحراء مصر الشرقية :

يتضح من الجدول التالى رقم (٨) والشكل رقم (٧٤) بعض الخصائص المورفومترية لأحواض وشبكات الأودية الثلاثة المذكورة.

جدول رقم (٨) بعض القياسات المورفومترية لأودية نقارة وجاسوس وجوسيس

الوادى	طول محيط الحوض	نسبة التفرع	مساحة الحوض بالكم٢	عدد الروافد بالحوض	كثافة التصريف	نسبة التقطع	طول مجارى الأودية بالحوض	متوسط أطوال الأودية الأربع
	ك							١ ٢ ٣ ٤
نقارة	٣٣ك	٤,١	٤٧	٧٩	١,٨	٢,٤٧	٨١	١١ـ١,٢٥ـ١ـ,٨٥
جاسوس	٤٥	٣,٦٧	٧٠	٨٥	١,٢٣	١,٩	٨٦	٢٠ـ٢ـ١,٢ـ,٦٤
حوسيس	٢٦	٣,٨	٣٢	٣٨	١,٣	١,٤	٥٢	١ـ٥ـ١,٧ـ,٧

المصدر : قياسات المؤلف ١٩٩٠

يمكن للطالب أو من يدرس فى هذا الكتاب أن يحلل بيانات الجدول للخروج بصورة واضحة ومحددة عن الخصائص المورفومترية لأحواض الأودية الثلاثة الموجودة بجبال البحر الأحمر بالصحراء الشرقية فى مصر (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٠).

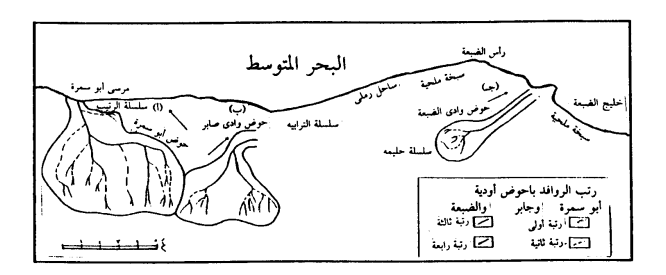
٣ ـ بعض الخصائص المورفومترية لأحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة بساحل مصر الشمالى :

أ ـ الأحواض (خصائصها المورفومترية) :

١ ـ **شكل الحوض**: كما رأينا تتعدد المعاملات المورفومترية التى تقارن أشكال الأحواض النهرية بالأشكال الهندسية وسوف نطبق بعض هذه المعاملات على النحو التالى :

ـ معامل الاستطالة : يرتفع معدل الاستطالة فى كل من حوضى وادى أبو سمرة ووادى جابر كما يتضح ذلك من الجدول التالى رقم (٩) والشكل رقم

(٧٥) فـيصل فى الأول إلى ٨٦, وفى الـثانى ٩٢, مما يعنى أنهـمـا بعيـدان عن الشكل المسـتطيل ويدل ذلك أيضًا على بسـاطة تضاريس حوضـيهمـا التى بدورها ترتبط بخصـائص الصخور الجـيرية السائدة وعـدم قدرتها على مـقاومة عـمليات التعرية رغم الجفاف النسبى الذى يسود المنطقة.



شكل رقم (٧٥)

جدول رقم (٩) بعض القياسات المورفومترية بأحواض أبو سمرة وجابر والضبعة

اسم الحوض	أقصى كم طول للحوض	عرض الحوض كم	محيط الحوض بالكم	معامل الاستطالة	نسبة طول الحوض/ عرضه	معامل الاندماج	معامل الشكل	مساحة الحوض كم٢
أبو سمرة	٧ ك	٤,٤	٢٢,٦	,٨٦	١,٧	,٤	,٥٩	٢٩
جابر	٧,٤	٣,٢	٢٠	,٩٢	١,٤٦	,٦٧	,٦٨	١٥
الضبعة	٦	١	١٣,٢	,٢٣	٦	,٩	,١٧	٦

من قياسات المؤلف ١٩٩٤

وفى الحوض الثـالث ينخفض المعدل إلى ٢٣, مما يدل على اقـترابه الواضح من شكل المستطيل ويرتبط ذلك باتجاه الجـريان نحوالشرق متمشيًا مع اتجاه محاور التضاريس الرئيسية بالمنطقة من حافات ومنخفضات من الشرق إلى الغرب.

- نسبة الطول/ العرض: وهو كما عرفنا معامل مورفومترى بسيط يتشابه فى المدلول الجيومـورفولوجى لنتائجه مع معـدل الاستطالة ولكن تعنى القيمـة المرتفعة اقتراب الحوض من شكل المستطيل وبتطبـيقه على أحواض الأودية الثلاثة وجد أنه ينخفض فى حوضى أبو سمرة وجـابر إلى ١,٧ و ١,٤٦ بالترتيب، وهذا يتمشى مع نتائج تطبـيق معامل الاستطالة حيث يـبتعدان عن الشكل المستطيـل بينما نجده يرتفع إلى ٦ فى حوض وادى الضبعة وهو أقربها إلى الشكل المستطيل.

- معـامل الاندماج: يبلغ مـعامل الاندمـاج فى حوض أبو سـمرة ٤, وفى حـوض جابر ٦٧, بينمـا يرتفع قليـلا فى حوض الضـبـعة إلى ٩, وهذه القـيم المنخفضة تدل على أن هذه الأودية رغم صغر أحـواضها إلا أنها قد قطعت شوطًا كبيرًا فى مراحل تطورها التحاتى وخاصة حوض وادى أبو سمرة.

- معـامل الشكل: يشيـر هذا المعامل إلى كل مـن الطول والعرض بالنسـبة لحوض الوادى وبتطبيقه على وادى أبو سمرة بلغ ٥٩, وارتفع إلى ٦٨, فى وادى جابر مما يدل على أن الأخير أقربهـا إلى الشكل المربع - أو بمعنى آخر اقتراب بعدا الحوض من بعضهـما - مما ينعكس على خصائصه الهيـدرولوجية ويعكس فى ذات الوقت مرحلة النضج التى تمر بها منطقة حوض جابر. وفى وادى الضبعة تنخفض قيـمة المعـامل (معامل الشكل) بشـكل كبيـر جدًا حيث تصـل إلى ١٧, فقط مما يعكس ازدياد واضح فى الطول النسبى لأحد بعدى الحوض على حساب الآخر.

ب - تضرس الحوض:

تبرز أهمية تضـرس الحوض باعتباره انعكاسًا لنشاط عـمليات التعرية وأثرها فى تشكيل سطح الحوض إلى جانب إبرازه لأثر أنواع الصخـور وخصائصها داخل حوض التصريف النهرى.

١ - معدل التضرس:

تبلغ قيمته فى حـوض وادى أبو سمره ٨,٥٧ وفى حوض جابر ٥,٣ ترتفع إلى ١١,٦ فى حوض وادى الضبعة مما يدل على زيادة درجة التضرس فى الحوض

الأخير بالمقارنة بحوض وادى أبو سمرة ووادى جابر حيث تتناسب قيمة هذا المعدل طرديًا مع درجة تضرس الحوض كما يتضح ذلك من الجدول التالى رقم (١٠)، ويأتى هذا المعدل من قسمة تضاريس الحوض (الفارق بين أعلى وأدنى نقطة بالحوض ÷ طوله).

جدول رقم (١٠) قيم معدل التضرس والوعورة والكثافة التصريفية

بأودية أبو سمرة وجابر والضبعة

اسم الحوض	قيمة معدل التضرس	قيمة الوعورة	الكثافة التصريفية
١ - أبو سمرة	٨,٥٧	,٠٩٨	١,١٥كم/كم٢
٢ - جابر	٥,٣	,٠٥	١,٢٤
٣ - الضبعة	١١,٦	,٠٥٢٣	,٨٣

المصدر : المؤلف ١٩٩٤

٢ - قيمة الوعورة Ruggedeness Value :

تدرس العلاقة بين تضرس الأرض داخل الحوض وأطوال مجارى شبكة التصريف، وبتطبيق قيمة الوعورة على أحواض الأودية الثلاثة وجد أنها تتراوح بين ٠٩٨ , فى حوض وادى أبو سمرة ونحو ٠٥ , فى كل من حوضى جابر والضبعة وهى قيم منخفضة تتميز بها عادة الأودية التى تجرى فى مناطق خفيفة التضاريس بشكل عام حيث ترتفع عند زيادة التضرس الحوضى أو عند زيادة أطوال المجارى على حساب المساحة الحوضية (Schumm, S.A, 1956, P12).

ب- الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف بالأحواض الثلاثة

أ- شكل الشبكة :

١ - معدل التشعب:

يتضح من الجدول التـالى رقم (١١) بعض الخصائص المورفومـترية لشبكات التصريف المائى بأحواض الأودية الثلاثة على النحو التالى:

- يبلغ معدل التشعب ما بين المرتبة الأولى والثانية فى حوض وادى أبـو سمرة ٢,٠٩ حيث يبلغ عدد أودية المرتبة الأولى ٢٣ واديًا والثانية ١١ واديًا ، بينما يزيد هذا المعدل إلى ٢,٦ فى حوض وادى جابر ويقل إلى ٢ فقط فى وادى الضبعة.

- يبلغ معدل التفرع (التشعب) فى حوض وادى أبو سمرة ٢,٩ وفى حوض جـابر ٢,٣٦ يقل إلى ٢ فـقط فى وادى الضـبعـة وهذه المعـدلات أقل قليـلا من معدلات التفرع بالأودية النهرية العادية والتى تتراوح ما بين٣ - ٥ وإن كانت تقترب من أرقام نسب الـتفرع التى ظهـرت من خلال القـياسات التى تمـت على عدد من أحواض الأودية الجافة فى سيناء والصحراء الشرقية.

- من قيـاس أطوال المجارى بالأودية الثـلاثة اتضح أن متـوسط أطوال أودية المرتبـة الأولى ٣٨, فى وادى أبو سمـرة و ٧٥,كم فى حوض وادى جـابر ووادى الضبعة ، بينما تبلغ متوسطات أودية المرتبـة الثانية فيها على الترتيب ١,٩٦ و٦٤, وكيلومتـر واحد. ويعنى ذلك أن متوسط أطوال المرتبـة الأولى فى وادى أبو سمرة أقل كثيراً من مـتوسط طول المرتبة الثانية ، أى أن التتابع بين المرتبـتين تتابع سريع يرجع ذلك إلى أن أودية الرتبـة الأولى تنحدر على الحافـات المنحدرة مماجـعلها لا تأخذ فرصتهـا لزيادة أطوالها بالإضافة إلى أنها تعيش خصـائص الشباب، بينما تمر الأودية بالرتبة الثانية فى أرض المنخفض الطولى أو السهل الساحلى المرتفع لمسافات طويلة نسبيًا.

وبالمقارنة نجد التتابع بين روافـد الرتبة الأولى والثانية فى كل من وادى جابر والضبعة يسير فى الأول بطيئـا للغاية حيث يزيد متوسط الأودية بالرتبة الأولى عن الثانية وذلك بسبب امتداد الأولى داخل أراضى سـهلية منخفضة وفى حوض وادى جابر يسير التتابع معتدلا بشكل عام.

ـ يبلغ متـوسط طول الرتبة الثـالثة فى الأودية الثلاثة عـلى الترتيب ١,٤ - ٢,٢ و٢,٤ ، ويمثل الأخيـر طول النهر الرئيسى بحوض الضـبعة، وترجع زيادة أطوال هذه الرتبة إلى امتداد الحافات الطولية بحيث تقطعها فى خطوط مستقيمة.

جدول رقم (١١) بعض الخصائص المورفومترية لأودية أبو سمرة وجابر والضبعة

الرتبة	وادى أبو سمرة				وادى جابر				وادى الضبعة			
	العدد	التفريغ	العدد لكل رتبين	النسبة× العدد	العدد	التفريغ	العدد لكل رتبين	النسبة× العدد	العدد	التفريغ	العدد لكل رتبتهن	النسبة× العدد
١	٢٣	-	-	-	١٣	-	-	—	٦	-	-	-
٢	١١	٢,٠٩	٣٤	٧١,٦	٥	٢,٦	١٨	٤٦,٨	٣	٢	٩	١٨
٣	٣	٣,٦٦	١٤	٥١,٢٤	٢	٢,٥	٧	١٧,٥	١	٣	٤	١٢
٤	١	٣	٤	١٢	١	٢	٣	٦	-	-	-	-
المجموع	٣٨	٨,٧٥		١٣,٤٤	٢١	٧,١	—	٧,٣	١٠	٥		٣٠
معدل تفرع الحوض		٢,٩				٢,٣٦				٢		

من حسابات المؤلف ١٩٩٤

٢ ـ كثافة التصريف :

تم تطبيق مقياسين من مقاييس كثافة التصريف المائى.

الكثافة التصريفية :-

تتمثل فى العلاقـة النسبية بين أطوال الأودية ومساحة الحوض وتبلغ قـيمتها فى وادى أبو سمـرة ١,٥١ كم٢ وفى وادى جابر ١,٤ وفى حوض وادى الضبـعة أقل من ذلك وجميعها نسب منخفضـة تدل على تباعد المجارى عن بعضها البعض إلى جانب قصـرها بالنسبة لمساحـة الحوض ويظهر ذلك بوضوح أكـثر فى حوض الضبعة.

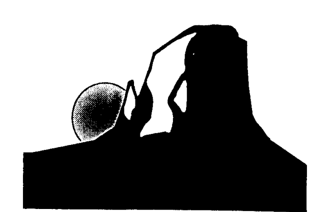
تكرار المجارى :

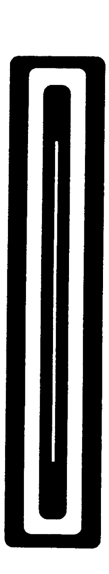
يقصد به النسبة بين أعداد المجارى ـ بصرف النظر عن أطوالها ـ إلى مساحته الحوضـيـة ، وبالتطبيق على الأوديـة الثلاثـة وجد أنهـا تصـل إلى ١,٣ فى وادى أبـو سمرة و ١,٤٤ فى وادى جابر وتنخفض إلى ٨٢, فى وادى الضبعة.

* * *



الفصل السادس





المياه تحت الأرضية وأشكال الأرض الكارستية



المياه تحت الأرضية أو ما تسمى أحيانًا بالمياه الجوفية هى تلك المياه المخزونة فى مسام الصخور المختلفة فإذا ما كانت توجد فى أعماق لا تزيد على بضع مئات من الأمتار من السطح الخارجى للأرض عرفت باسم المياه الجوية meteoric-water[1] وتتمثل مصادرها أساسًا فى مياه المطر ومظاهر التساقط الأخرى من برد وندى وغيرها مما ينتهى به الأمر للتسرب داخل قشرة الأرض خلال مسام الصخور وخاصة عندما تكون هذه الصخور عالية النفاذية والمسامية highly porous and permeabl والتى تعرف بالصخور الخازنة reservoir rocks.

وهناك نوعان آخران من المياه الجوفية أقل فى كميتها بكثير من النوع الأول يتمثل أولهما فى الماء المتبقى بعد حدوث عمليات تبلور للمعادن من الصهير المتداخل فى الصخر ويعرف باسم الماء الصهارى ونسبته إلى المياه الجوفية ضئيلة جدًا.

ويتميز الماء الصهارى jovenile water أيضًا بارتفاع درجة حرارته وقد يتسرب جزء منه إلى أعلى قرب سطح الأرض بحيث يختلط بالمياه الجوية سابقة الذكر لتظهر فى شكل ينابيع حارة مثل تلك الينابيع والنافورات الحارة بمناطق النشاطات البركانية. أما النوع الثالث من المياه تحت الأرضية فيعرف بالماء المقرون connate water وهو ماء ترتفع به نسبة الملوحة كثيرًا لأنه يرتبط بصخور رسوبية ترسبت فى الأصل وسط مجال بحرى، وهذه المياه هى مياه بحرية مالحة فى أصلها احتبست فى مسام الصخور الرسوبية أثناء تراكمها وعادة ما يتمثل فى مياه الآبارالعميقة المرتبطة بالتنقيب عن البترول. وفى كثير من الأحوال قد تختلط المياه الصهارية والمياه السماوية قرب الأرض، ونفس الشىء بالنسبة للمياه المقرونة.

وجدير بالذكر أن العمل الجيومورفولوجى عادة ما يرتبط بالمياه السماوية التى يظهر تأثيرها الكبير على بعض الملامح التضاريسية والأشكال الأرضية.

---

(١) أحيانًا تسمى بالمياه السماوية وهى المياه التى يهتم بها الجيولوجيون عند عمليات التنقيب عن المياه لاستخدامها فى أغراض مختلفة.

وإذا كانت هذه المياه (السماوية) أو الجوية تتسرب إلى الصخور التحتية عن طريق المسام والشقوق والفواصل إلا أن بعضها قد يعود إلى السطح بفعل الخاصة الشعرية capillarity أو عن طريق امتصاص جذور النبات له، ولكن بشكل عام فإن الجزء الأعظم منها يبقى فى باطن قشرة الأرض فى تراكيب تعرف «بمكامن» المياه الجوفية وتبدو فى شكل عدسات كبيرة الحجم تحاط بصخور مصمتة (غير مسامية) تمثل الأخيرة العامل الرئيسى فى تكونها ولذلك كان اهتمام الجيولوجيين دائمًا بتحديد تركيب أسطح الطبقات المصمتة فى التسلسل الطبقى القريب من سطح الأرض (حسن وزملاؤه، ص٢٩١) عند بحثهم عن المياه الجوفية.

العوامل المتحكمة فى المياه تحت الأرضية :

تتحكم فى وجود وحركة المياه تحت الأرضية under ground عوامل عديدة تتمثل فى الميل العام للطبقات الصخرية الحاوية للمياه والصور التركيبية المختلفة من الصدوع والفواصل والقواطع الرأسية والأفقية ومسامية الصخر - كما ذكرنا - وقدرتها على الإنفاذ والإمرار.

وفيما يلى دراسة تفصيلية للعوامل الثلاثة الأخيرة لما لها من قدرة كبيرة على التحكم فى حركة المياه تحت الأرضية مع إيجاز لمفهوم مكامن المياه الجوفية حتى يمكن تفهم الموضع الذى توجد فيه المياه تحت قشرة الأرض.

أ- مسامية الصخر Porosity :

صفة تتميز بها بعض الصخور عن البعض الآخر يقصد بها النسبة بين حجم الفراغات إلى الحجم الكلى للكتلة الصخرية وهى عادة نسبة مئوية يمكن من خلالها المقارنة بين مسامية الصخور بعضها ببعض ، فمسامية بعض الصخور ضئيلة جدًا مثل الجرانيت والذى تصل فيه إلى أقل من ١٪ وخاصة عندما يكون خاليًا من الشقوق unfractured يماثله فى ذلك معظم الصخور النارية والمتحولة، بينما تكون المسامية عالية فى أنواع كثيرة أخرى من الصخور مثلما الحال فى الحجر الرملى ضعيف التماسك والذى تصل فيه إلى ٤٠٪ كما تزيد إلى ٥٠٪ فى كل من الطين والصخور الطباشيرية وتتراوح فى الحجر الجيرى ما بين ٥٪ و ٢٠٪ وفى الحجر الجيرى الدلوميتى إلى أقل من ٥٪ .

وتعتمـد مسامية المواد الرسـوبية أساسًا على شكل وترتيب جـزيئاته ودرجة تصنيفها وتلاحمـها وتماسكها عند ترسيبها، وتعتـمد كذلك على إذابة المواد القابلة للإذابة.

فإذا ما كانت الحبيبات متجانسة ومتـقاربة فى حجمها كانت أكثر مسامية من المفتتات مختلفـة الأحجام حيث إنه فى الحالة الأخيرة تتجمع الحبـيبات الدقيقة فى الفراغـات التى تظهر بين الحبيـبات الكبيرة، كـذلك نجد أن الحبيـبات ذات الزوايا الحادة angular particles(1) تقلل من المسامـية بفعل تداخل الزوايا فى الفـراغات البينية، كمـا أن ترسيب المواد الكيماوية فى الفراغات يقلل من مسـامية الصخر ، أما عن ترتيب الحبـيبات فى الصخر أو مـا يعرف بالدموج packing فإن له تأثيره على مسامية الصـخر حيث تكون الصخور المرتبة بشكل مندمج أقل فى مسـاميتها من الصخور الأقل دموجًا فى ترتيبها.

وتحسب المسامية من خلال المعادلة التالية:ـ

$$\text{مسامية الصخر} = \frac{\text{حجم الفراغات البينية بالكتلة الصخرية}}{\text{الحجم الكلى للكتلة}}$$

وتبسـيطًا لهذه المعادلة فإننا لـو تصورنا أن لترًا واحدًا من الرواسب يحـتوى على ٢٥, لتر من الماء عند تشبـعه فإن مساميتـه فى هذه الحالة تساوى ٢٥٪ لأنها بالفعل تشغل ٢٥٪ من الحجم الكلى.

ب ـ نفاذية الصخر (الإنفاذ) Permeability:

يقصد بالنفاذية قـابلية الصخر لإمرار الماء بين حبيباته ، ويمكـننا التعبير عن النفاذية من خلال المعادلة التالية:

$$\text{ك} = \text{م} \; \frac{\text{س ص}}{\text{ل ط}}$$

حيث ك = كميـة المياه التى تمر خلال عينة صخرية (يراد قيـاس نفاذيتها فى الثانية).

---

(1) هناك حبيـات مستديرة rounded وأخري زاوية angular ، ومن حيث الشكل هناك حبيبات متساوية الأبعاد equant وأخري مسطحة tabular وأخري نصلية وغير ذلك.

س = مساحـة المقطع العمودى على اتجـاه حركة الماء خلال الصـخر وتقاس بالسم٢.

ط = طول العينة الأسطوانية بالسم.

ل = لزوجة السائل viscosity المار خلال العينة وتقاس بوحدة اللزوجة -cen tipoise (حسن وزملاؤه، ص٢٩٠).

ص = فرق الضغط بين موقعى دخول السائل فى العينة وخروجه منها.

م = ثابت لكل عينة وهو مقدار نفاذية الصخر الممثل فى العينة.

ويمكن تقسـيم الصخور من حيث نفـاذيتها إلى صخـور منفذة permeable وصـخـور غيـر منـفـذة impermeable rocks، وكما ذكـرنـا فإن نفاذيـة الصخور أو التربة عبارة عن قياس لقدرتها على إمرار المياه بين حـبيباتها سواء كانت مسامية أو غير مسـامية، فنجد على سبيل المثال أن الطين صـخر مسامى ولكنه فى الوقت نفسه غير منفذ ، بينما نجد الرمل مساميًا ومنفذًا للماء ويرجع ذلك إلى أن حبيبات الطين دقيقة وبـالتالى تكون شديدة التقارب من بعضـها البعض،والنتيجة الطبـيعية لذلك وجـود مسام صـغيـرة للغاية تمسك بالمـياه بواسطة الخـاصة الشعـرية (أنور وفوزى، ١٩٦٥، ص١٩٦) وعادة ما تكون الصخور المنفذة مسامية ، بينما نجد أن الصخور عالية المسامية ليس شرطًا أن تكون عالية النفاذية، فصخر الخفاف pumice صخر عالى المسامية بدرجة كبيرة ولكنه منخفض للغاية فى درجة نفاذيته لدرجة أنه يطفـو فوق سطح الماء لعـدة أيام ويرجع ذلك إلى عدم اتصـال فراغـاته (مسـامه) pores ببعضها البعض بحيث يصعب على الماء التسرب داخلها.

ومن العوامل الهامة التى تؤثر على نفاذية الصخر حجم حبيباته grains-size الذى يؤثر بدوره على حـجم مسامـه، ويعد الزلط والرمل والحـجر الرملى -sand stone من الصخور التى تتميـز بمساميتها وأيضًا بنفاذيتـها،وذلك بسبب عدم وجود مواد وتكوينات دقيقة كالصلصـال والطفل غير المنفذة والتى تمثل أسطحًا للاحتكاك مما يؤدى إلى بطء حركة المياه بها،ومن ثم تكون الصخور الأخيرة غير منفذة إذا لم توجد بها شـقوق وفواصل تسمح بمرور المياه خلالـها، وفى هذه الحالة يطلق على تحرك الميـاه «الإمرار» تسـتوى فى ذلك الصـخور غـير المسـامية مـثل الكوارتزيت

والدلوميت والبازلت والجرانيت وغيرها، حيث إن وجود الشقوق فى هذه الصخور غير المسامية يؤدى إلى تحريك المياه خلالها وحينئذ يطلق عليها - رغم عدم مساميتها - صخور ممررة pervious-rocks وذلك تمييزًا لها عن الصخور المنفذة (من خلال المسام) حيث لا تتحرك المياه خلال حبيباتها ولكنها تتحرك فى ممرات وأنابيب طبيعية تتمثل فى الشقوق cracks والفواصل والصدوع. وللنفاذية أهمية كبيرة حيث تعد من أكثر العوامل التى تؤثر فى حركة المياه تحت الأرضية والتى بدورها تتأثر باختلاف معدلات النفاذية للصخور المختلفة.

ويمكن حساب كميات المياه التى تشربتها التربة وتخللت الصخور من خلال طرح مجموع معدلات التبخر evaporation rates ومعدلات الانسياب أو الجريان السطحى من التساقط precipitation(1).

والمثال التالى يوضح ما سبق فإذا افترضنا أن معدل التساقط فى منطقة ما ولتكن (أ) فى اليوم ١٠٠ مللم لكل كيلومتر مربع ومعدل التبخر ٢٠ مللم فإنه بطرح الاثنين من بعضهما ينتج معدل المياه الجارية والتى تمثل بدورها احتياطى لمياه الأنهار وروافدها وفروعها بالكيلومتر المربع تضاف إليها مياه الينابيع والعيون والآبار، فإذا ما ضرب هذا الرقم فى مساحة المنطقة بالكيلومتر المربع فينتج عن ذلك كمية المياه التى يمكن الحصول عليها فى المنطقة من المصادر المذكورة مع استثناء ما يستهلكه الإنسان فى أغراضه المختلفة.

وباختصار يمكننا تصنيف الصخور من حيث علاقتها بالمياه تحت الأرضية إلى صخور مسامية ومنفذة وهذه تعطى للمياه حرية التحرك وبالتالى تمثل خزانات للمياه تحت الأرضية مثلما الحال فى صخور الحجر الرملى النوبى بصحراء مصر الغربية والتى ترجع فى معظمها إلى العصر الكرتياسى الأسفل ، ويعد مصدر المياه بالآبار والينابيع بواحات سيوة والبحرية والخارجة وغيرها، كما تمثل صخور الحجر الجيرى أيضًا خزانات للمياه تحت الأرضية وذلك بسبب سرعة تكون الفواصل والشقوق به كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد.

---

(1) يطلق فى كثير من الأحيان على مجموع المياه المنسابة على السطح والمياه المتسربة حتى عمق محدود فى القشرة الخارجية للأرض بالمياه الجارية حيث يعتبر المخططون أن الكمية المتسربة بمثابة احتياطى من المياه للتخطيط المستقبلى.

أما الثانية فهى صخور مسامية غير منفذة مثل الحجر الطينى mudstone وحجر الخفاف والطباشير والصلصال وغيرها، أما النوع الثالث فهو عبارة عن صخور غير مسامية ولكنها ممررة فى نفس الوقت مثل الصخور النارية كثيرة الشقوق والفواصل ، والنوع الرابع صخور غير مسامية وغير ممررة non pervious مثل الحجر الجرانيتى الخالى من الشقوق والفواصل.

منسوب المياه تحت الأرضية ونطاقاتها :

يطلق على مستوى الماء تحت سطح الأرض منسوب المياه تحت الأرضية un-derground water table وهو باختصار الحد الأعلى للمياه تحت الأرضية، وهو عادة ما يتميز بتعرجه متمشيًا مع الشكل العام للتضاريس السطحية، ويختلف عمقه من منطقة إلى أخرى، فهو يرتفع تحت التلال عنه تحت أو قرب الأودية وذلك فى الأقاليم التلية ذات الأمطار المتوسطة، حيث يصل عمقه ما بين بضعة أمتار وعدة أمتار تحت السطح ، أما فى الأقاليم الجافة ـ حيث يقل المطر ويزداد التبخر ـ ينخفض منسوبه كثيرًا ونجده ملاصقًا للسطح أو قريبًا منه جدًّا وخاصة قرب الأنهار دائمة الجريان permanent streams والبحيرات والكتل المائية الأخرى، كما نجده يصل إلى منسوب سطح البحر عند الشواطئ shores وفى المناطق المتباينة فى تضاريسها بين مرتفعات ومنخفضات ، قد يحدث تقاطع منسوب الماء تحت الأرض مع هذه الظاهرات مما قد يؤدى إلى ظهور مستنقعات swamps مثل تلك الموجودة فى بعض قيعان المنخفضات الطبيعية مثل منخفض وادى النطرون والقطارة وسيوه وكلها توجد قيعانها تحت مستوى سطح البحر، وهنا تظهر المياه فى شكل برك ponds وبحيرات مثل بحيرة أم ريشة ومساحتها ٣,٢ كم٢ مع سبع بحيرات أخرى أقل مساحة بمنخفض وادى النطرون ، كما تغطى السبخات نحو ٦٠٠٠ كيلومتر مربع من قاع منخفض القطارة وقد أرجعها بول Ball.J إلى تسرب المياه تحت الأرضية الموجودة بالحجر الرملى النوبى إلى السطح، يشبهها فى ذلك مستنقعات وبطائح المياه والبرك الموجودة بقاع منخفض سيوه مثل بحيرة الزيتون التى تبلغ مساحتها ١٥كم٢ وبحيرة أغورمى وكلها بحيرات ترتفع بها نسبة الملوحة بسبب صخور القاع الكلسية سريعة الذوبان فى المياه إلى جانب ارتفاع طاقة التبخر (المؤلف، ١٩٩٢، ص١٣٥-١٣٧)

تقاطع منسوب المياه تحت الأرضية مع سطح قاع المنخفض(*)

أما فى الأقاليم المناخية الرطبة فنجد أن مستوى الماء تحت الأرضى ينطبق مع مستويات المياه السطحية بالمناطق القريبة وعلى ذلك نجد أن نشع seepage المياه تحت الأرضية بالإضافة إلى الجريان السطحى المباشر يؤدى إلى استمرار الأسطح المائية طوال السنة، وهناك أمثلة كثيرة على وجود مثل هذه الأسطح المائية من برك المياه العذبة فى أمريكا وأوروبا حيث تمتد سهول رملية وحصوية من نتاج التعرية الجليدية تشتمل على تجويفات excavations وحفر نتيجة لذوبان الجليد (Strahler, A, and Strahler, A, 1982, p272) وعدم إمكانية تصريفها لانخفاض قيعانها عما حولها من مناطق، كما أن العديد من البرك قد امتلأت بالمواد العضوية organic materials وذلك نتيجة لنمو النباتات المائيه بها، وتحولت إلى أسطح منخفضة تكونت قريبة جداً من منسوب المياه تحت الأرضية.

وحيث توجد مياه أرضية فى أية منطقة فإنها تظهر فى ثلاثة نطاقات(1) أو ثلاث مناطق أقربها إلى السطح النطاق الجاف أو نطاق عدم التشبع unsaturation zone وهو نطاق لا يحتوى إلا على قدر محدود للغاية من المياه، وقد تحتوى مسام الصخور بجانب الماء قدراً من الهواء وإذا ما وجدت مياه هنا فهى عبارة عن مياه عالقة suspended تختلف فى سمكها من منطقة إلى أخرى تليها إلى أسفل منطقة متوسطة التشبع zone of intermittemt saturation يوجد بها الماء فى الشقوق الضيقة والمسام الدقيقة للغاية مثل مسام الحجر الطينى وذلك نتيجة لامتصاصه بالخاصة الشعرية، ثم أخيراً منطقة التشبع الدائم zone of permanent saturation التى تمتلئ فيها كل الشقوق والمسام بالمياه وقد يصل عمقها إلى مئات الأمتار أو أكثر وذلك حسب التراكيب الجيولوجية بالمنطقة.

(*) يقع منخفض سيوة دون مستوى سطح البحر بنحو ١٧ متراً.

(١) ينقسم هذا النطاق إلى ثلاثة نطاقات ثانوية تكون الحدود فيها غالبًا غير واضحة.

أ ـ نطاق رطوبة التربة soil moisture يقع تحت السطح مباشرة.

ب ـ النطاق الأوسط intermittent zone .

جـ ـ نطاق الخاصة الشعرية capillary fringe

وبالنسبة للحد الأعلى فهو كما ذكرنا يكون أقرب إلى السطح فى المناطق الرطبة عنه فى المناطق ذات المناخ الجاف،كما أنه يختلف ما بين الشتاء والصيف فيرتفع فى الشتاء وينخفض صيفًا تبعًا لنظام سقوط الأمطار، وقد يتسبب وجود طبقة غير منفذة بين الصخور الحاملة للمياه فى تغير المنسوب الأصلى للمياه تحت الأرضية.

حركة المياه تحت الأرضية وتقدير سرعتها :

يطلق على المياه عندما تتحرك ببطء خلال نطاق التشبع المائى من قشرة الأرض بالتخلل percolation والذى يعتمد أساسًا على درجة الانحدار الهيدروليكى hydraulic gradient،بينما يتأثر اتجاه المياه بالعمق وميل الطبقات الرسوبية واختلاف درجة نفاذية الصخور،كما يؤدى اختلاف درجة الضغط الهيدروليكى على تحرك الماء تحت الأرض خلال الممرات وذلك من مناطق الضغط الأعلى تحت التلال إلى مناطق الضغط الأقل تحت الأودية.

وجدير بالذكر أن التغير فى ارتفاع مستوى الماء تحت الأرض (تبعًا للتغيرات الفعلية فى سقوط المطر) يكون أكبر تحت التلال منه تحت الأودية، كما أن العمق الذى يتسرب إليه الماء من السطح يتباين من منطقة إلى أخرى تبعًا للمسامية والنفاذية التى تختلف من صخر إلى آخر، ففى بعض الصخور المنفذة يصل الماء السطحى فى تخلله إلى أعماق بعيدة تصل إلى آلاف الأمتار، بينما فى الصخور غير المنفذة نجد القليل جدًا من الماء يتجمع عند أعماق تتجاوز مئات الأمتار، وإذا كانت الممرات المنفذة تتجه إلى أسفل مباشرة ـ وذلك بسبب ميل الطبقات الصخرية المنفذة أو وجود شقوق تزيد من درجة النفاذية ـ فإن الماء قد يتجه إلى أسفل نحو أعماق بعيدة ، وفى الصخور النارية والمتحولة نجد أن النفاذية تكون أساسًا وظيفة عدد وحجم الشقوق ، فلو كانت الشقوق نادرة أو غير موجودة فإن فرصة وجود مياه فى أعماق بعيدة تكون نادرة للغاية.

أما عن سرعة المياه تحت الأرضية فإنها تتوقف عادة على عدة عوامل أهمها حجم الحبيبات ودرجة النفاذية والضغط الهيدروليكى واختلافه من منطقة إلى أخرى واختلاف درجة حرارة الماء التى تؤثر بدورها على مقدار لزوجته. وقد وجد

من خلال العديد من التجـارب أن متوسط سرعة المياه خـلال الرمال الناعمة (التى يتراوح حجم حـبيباتها ما بين ٠٠٥ , و ٢٥ ,مم) ٠٢١ , مـتر فى اليوم تزداد فى الرمال متوسطة الحـجم (من ٢٥ ,مم إلى ٥ ,مم) إلى ٣٥, متراً فى اليوم وتصل إلى أكثر من متـرين خلال الرمال الخشنة وإلى عشرة أمـتار خلال تكوينات الحصى والزلط (موسى وزملاؤه، ص٢٣٣).

تداخل الماء تحت الأرضى مع مياه البحر المالحة :

عندما يلتقى منسوب الماء تحت الأرضى بشاطئ بحر أو بحيرة أو سطح مائى فـإنه يأخذ شكـل «قاطع ناقص» وذلك لالـتقـاء ميـاه البـحر المـالحة بالميـاه تحت الأرضية، وتبدو المياه العذبة فى شكل عدسة ضـخمة ذات أوجه محدبة وسطحها العلوى محدب أيضـًا حيث ترتكز فوق المياه المالحـة الأكثر منها كـثافة (فى أغلب الأحوال) وكثـيراً ما يحدث اختـلاط بينهما فى منطقة التـقائهما، وتبـدو العدسة العذبة وكأنهـا طافية floating فوق الميـاه المالحة حيث تدفـعها الأخـيرة إلى أعلى بحكم اختلاف الكثافـة بينهما والتى تبلغ نسبتهـا بينهما ٤٠ ـ ٤١، ولو فرض أن منسوب الماء الجوفى عشرة أمتار فوق مسـتوى سطح البحر، فإن قاع العدسة المائية العذبة يكون ٤٠٠ مـتر تحت مستوى سطـح البحر، أى قدر ارتفاع منـسوب المياه تحت الأرضية ٤٠ مرة (Strahler, A.N., 1974, p 274). وتمتد المياه تحت الأرضية العذبة باتجاه البحر على بعد قليل من خط الشاطئ، وعند ضخ مياه الآبار المتاخمة للشاطئ يتزحزح الخط الفاصل بين الماء المالح والماء العذب إلى أعلى ولذلك يجب التوقف عن الضخ عند الوصول إلى منسوب المياه المالحة.

وتؤثر حركات المد والجزر tide على منسوب المياه تحت الأرضية قرب مناطق الشـواطئ، حيـث إنـه عادة ما يتمشى مستوى ميـاه الآبار السـاحلية مع مستوى المد أو أقل منه قليلاً ولذلك فمعظم مياه الآبار الساحلية لها تأثير ضار بسبب ما يحتويه من أملاح الصوديوم والمغنسيوم وغيرها.

وقد تمت دراسـات عديدة على المياه تحت الأرضـية فى مناطق مخـتلفة من العالم ومنها شواطئ هولندا، ووجد أن هناك علاقة تربط بين كثافة الماء المالح وبين سمك الماء العذب الذى يطفو فوقه ، يبينها القانون التالى:

$$\frac{ع}{م} = (ث - ١)٩$$

حيث ع = سمك طبقة الماء العذب فوق سطح البحر.

م = سمك طبقة الماء العذب تحت سطح البحر.

ث = كثافة ماء البحر فى المنطقة الساحلية.

١ = كثافة الماء العذب.

معنى ما سبق أن ثقل عمود طوله م (من الماء المالح) يساوى ثقل عمود طوله ع + م من الماء العذب، أى أن :

م × ث = (ع + م) × ١ أو م × ث = (ع + م) = ١

أى أن = ث + ١ (للاستزادة راجع أنور وزميله، ص٢١٣)

وكما عرفنا أن مستوى الماء الأرضى يتـمشى مع الملامح الطوبوغرافية ومعنى ذلك أنه يزداد ارتفاعًا مع ارتفاع السطح وبالتالى فإن (ع) وهى سمك الطبقة العذبة تكبر مـع ارتفاع السطح قـرب الشاطئ وعكس ذلك فى المناطق المنخـفضـة. وقد أدرك الرومـان ذلك فى حفـر آبارهم على السـاحل الشمـالى غـربى الإسكندرية (ساحل مريوط) فقد تركوا بطون الأودية وحفروا آبارهم فى جوانب التلال المرتفعة بحـيث يصل قاع الـبئـر تحت مسـتـوى الماء العذب بقليـل ومدوا خنادق طوليـة (فوجارات) يجمع فيها مـاء الآبار ليرفع بآلات الرفع التى عرفت فى تلك العصور ومازالت الآبار الرومانية منتشرة حتى الوقت الحاضر على طول ساحل مريوط وفى مناطق كثيرة من العالم.

وفى نطاق الكثبـان الرملية الساحلية يتـراكم ماء المطر المتسرب مكونـا طبقة رقيقة من المياه العـذبة جائمة فوق ماء البحر المالح المتسـرب، ولذلك تستخدم فى رفعهـا طلمبات خفيفـة وتحفر الآبار الضحلة حتى لا تصل إلى مـاء البحر المالح، وتعرف هذه الآبار الضـحلة قرب الساحل الشمـالى فى مصر بالمعاطـن (حمدان، ١٩٨٠، ص٤٢٦) وبالابتعـاد جنوبًا تتميز هـذه الآبار بزيادة أعماقهـا وتعرف هنا باسم «السوانى» مـثل سوانى سمالوس بين العلمين وسـيدى عبد الرحـمن وسانية القصيـة شرق مرسى مطروح، كمـا تنتشر مثل هذه الآبار على السـاحل الشمالى لسيناء وعلى طول ساحل البحر الأحمر فى مصر.

اولا - العمليات الجيومورفولوجية للمياه تحت الارضية :

مقدمة :

عندما يقترب منسوب الماء الجوفى (تحت الأرضى) من السطح - بحيث يدخل فى نطاق قدرة الخاصة الشعرية فإنه يرتفع إلى أعلى حاملاً معه الأملاح الذائبة solved salts والتى تترسب فوق سطح الأرض مكونة قشوراً ملحية بيضاء أو بنية اللون.

وفى بعض الحالات الخاصة ينتج عن وقوف الماء الأرضى مدة طويلة تكون طبقة صماء فى المنطقة الواقعة فوقه مباشرة وذلك إثر حدوث تفاعلات بيولوجية وكيماوية فى ظروف لاهوائية ينتج عنها تكون رواسب من الجبس (كاكب أد) كانت فى الأصل عبارة عن أملاح كالسيوم وصوديوم ومغنسيوم وفى بعض الحالات تظهر كربونات الصوديوم لتحول الطبقة إلى صخور غير منفذة.

وقد أظهرت التجارب التى تمت على أعمدة من الأراضى المختلفة - مشبعة بالماء ومعرضة للتبخر - انعدام أثر مستوى الماء الأرضى على رطوبة سطح التربة الرملية الخشنة عند عمق يزيد على ٣٥ سنتيمترا ويختفى هذا الأثر فى التربة الرملية الناعمة والطمية الثقيلة على عمق يتراوح ما بين ٧ و ٨سم على التوالى. وعلى هذا الأساس يمكن القول بأن مستوى الماء الأرضى يفقد أثره على ترطيب أية طبقة إذا مازاد عمقه عنها بالمقادير سالفة الذكر.

والواقع أن التأثير الأكبر والأكثر وضوحًا للمياه تحت الأرضية يظهر فى تلك المناطق من العالم التى تمتد بها مساحات مكونة من صخور قابلة للإذابة مثل الحجر الجيرى والجبس والدلوميت والملح الصخرى وغيرها، مما يؤدى إلى تكون طبقة أرضية مميزة تعكس بوضوح الظروف الليثيولوجية lithological conditions .

ومن المعروف أن الحجر الجيرى بشكل عام صخر كلسى يذوب فى المياه تحت الأرضية وكذلك بفعل المياه الجارية التى تحتوى على حمض الكربونيك carbonic acid[1] وينتج عن ذلك تكون العديد من أشكال سطح الأرض التى توجد عليها

(١) من المعروف أن الحجر الجيرى يتكون أساسًا من كربونات الكالسيوم calcium carbonate غير =

ظاهرات كارستية نسبة إلى إقليم كارست Karst بشبه جزيرة أستريا بساحل كرواتيا على البحر الأدرياتى والذى تتمثل فيه معظم أشكال الكارست المعروفة من بوجاز وحفر غائرة (هوات) وأودية عمياء وغيرها.

ونظرًا لكون الحجر الجيرى من أكثر صخور قشرة الأرض انتشارًا فإن الأشكال الكارستية توجد فى مناطق كثيرة من العالم، من المناطق المدارية مثل جزيرة جاميكا وفيتنام والجزيرة العربية إلى المناطق المعتدلة مثل وسط الغرب الأمريكى إلى المناطق القطبية مثل جزيرة ساوث هامبتون فى شمال كندا.

وتتباين الأشكال الكارستية تباينًا كبيرًا من منطقة إلى أخرى بسبب اختلاف الظروف المناخية والجيولوجية مكانيا مع الأخذ فى الاعتبار أن الأشكال النموذجية من الكارست تتمثل أساسًا فى العروض المعتدلة المشابهة لإقليم كارست الكرواتى. وعادة ما تظهر أشكال سطح الأرض الكارستية المثالية عندما تختفى المياه السطحية فى صخور الحجر الجيرى المنفذ للمياه والذى يسمح لها بالتشرب والتخلل فى الأرض بشكل سريع، ويؤدى وجود المياه داخل صخور ما تحت السطح وتحركها خلال شقوقها وفواصلها وفجواتها إلى حدوث نحت كيماوى corrosion[1].

والواقع أن خاصية الجفاف التى تميز المناطق الجيرية ترجع إلى طبيعة الصخور الجيرية عالية النفاذية والتى بدورها - أى النفاذية - تعتمد على حجم الشقوق والفواصل الصخرية وتقاطعها مع بعضها، وكما أن قابلية الحجر الجيرى للإذابة تعد عاملاً هامًا فى تقوية وزيادة درجة الإمرار والنفاذية ، ومن ثم نجد أن المياه تحت الأرضية تكون قادرة على التشكيل فى طوبوغرافية المناطق الجيرية بسبب مقدرتها على الإذابة solvent capacity بما تحتويه من ثانى أكسيد الكربون المذاب فيها.

ويؤثر الماء تحت الأرضى فى صخور الحجر الجيرى من خلال ثلاث طبقات تتمثل فى:

١ - المياه المتخللة percolated water وكما عرفنا فإن هذه المياه تكون قريبة من السطح بدرجة كبيرة حيث ترشح ببطء شديد فى كتل الحجر الجيرى ولذلك

= القابل للذوبان insoluble ولكن ثانى أكسيد الكربون الذى تمتصه مياه الأمطار من الجو يحولها إلى بيكربونات bicarbonate قابلة للذوبان ومن ثم كانت إزالته بفعل إذابة مياه المطر ومياه الأنهار الجارية.

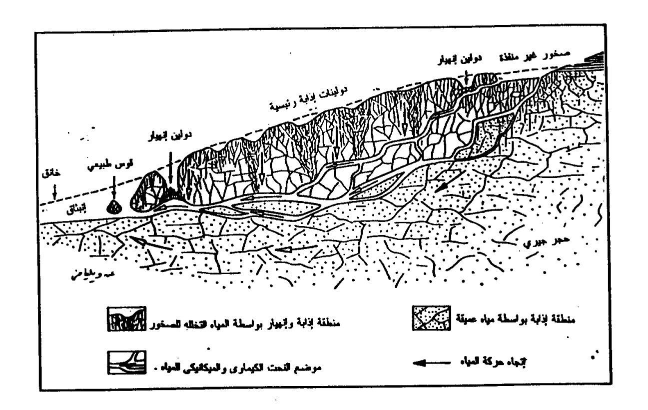
(١) قد يحدث ذلك أعلى أو أسفل مستوى سطح الماء تحت الأرضى.

فإن طاقتها النحتية corrosive capacity غالبًا مـا تبذل خلال عدة أمـتار قليلة من السطح (Pitty A, 1968, p199) .

٢ ـ المياه تحت السطحية subterranean وتتحرك بسرعة تحت السطح، وعادة ما تكون قـدرتها على الإذابة ممتدة لأعمـاق تصل إلى عدة مئات من الأمـتار إلى جانب ذلك فإنها تلعب دوراً فى النحت الميكانيكى.

٣ ـ يتمثل فى المياه العميقة التى يصعب التأكد من دورها بسبب بعدها الكبير عن السطح وهى عادة ما تـوجد فى منطقة تشبع دائم كمـا يتضح ذلك من الشكل رقم (٧٦) الذى يبين توزيع صـور الإذابة خلال كتل الحجر الجـيرى لاحظ كذلك تـدفق الماء التحتى الـذى تشير إليـه الأسهم سواء داخل شقوق متصلة (أنهار تحتية أو فى منطقـة الصخور الجـيرية أسفلهـا) حيث طبـقة التشـبع الدائم كمـا يظهر الشكل، كذلك منطقـة المياه العلوية القريبة جدًا من السـطح ومظاهر الانهيار col-lapse التى تعرضت لها الصخور الجيرية السطحية (William, p.1977, p111) .

وعمومًا، فإن عمليات الإذابة التى تقوم بهـا المياه فى الصخور الجيرية ينتهى بها الأمر إلى تخفيض سطح الأرض بمعدلات تتراوح فى بعض المناطق ما بين ٠١ ـ ٠٢ مللم فى السنة. ولكن على المدى القريب فإن التأثير الكارستى للمياه يختلف من قسم إلى آخـر من الأقسـام الثلاثة سابقـة الذكر فـالإذابة بفعل المياه المـتخللة تخفض بشكل مبـاشر السطح؛ وذلك لأنها تعمل بقوة أكـبر على السطح العلوى لسمك بضعة أمـتار تؤثر عليها الشقوق والمفاصل التى تمثل مسـالك للمياه المتخللة إلى أسفل ولذلك فإن هذه الشقوق وغيرها من مناطق الضعف التركيبى فى صخور تمثل مواضع تطور منخفضات الإذابة solution depressions والتى تختلف اختلافًا كبيـرًا فى أحـجامها وأشـكالها بـالعروض المـدارية عنـها فى الـعروض المعتـدلـة أو العروض دون القطبية مما يدل على الأثر الواضح للمناخ فى تشكيلها (William, p.w, p110) .



شكل رقم (٧٦)

فنجد على سبيل المثال أن المياه المتخللة للرواسب الفيضية والجليدية السميكة التى تعلو الحجر الجيرى تكون عادة مسئولة عن تكون منخفضات صغيرة مغلقة تقع كلية داخل هذه الرواسب تعرف بحفر المجروفات drift dolines حيث تعمل المياه على نحت المفتتات نحتًا جزئيًا بواسطة الإذابة الانتقائية selective solution لمكوناتها، وكذلك بواسطة غسل الرواسب الناعمة إلى أسفل فى الفراغات الموجودة بالصخور السفلى underlying rocks فى عملية تعرف بالمص أو الانتشار الكمياوى والميكانيكى chemical and mechanical suffosion.

والواقع أنه حتى الآن مازال من الصعب معرفة أو قياس الفروق بين الآثار النحتية erosive effects للمياه المتخللة والجريان المائى التحت أرضى subterranean flow، وإن كانت هناك اختلافات وظيفية واضحة بين كلٍ منهما ، أكثرها

وضوحًا ما يتمثل فى توزيع مواضع النحت ففى الحالة الأولى (المياه المتخللة) يظهر فوق مكشف الصخور الجيرية بينما فى الحالة الثانية يقتفى أثر امتداد المجرى المائى التحتى كما سيتضح ذلك تفصيلاً فيما بعد.

تطور طوبوغرافية الكارست :

تتطور الأشكال الأرضية بمنطقة التعرية الكارستية خلال سلسلة من المراحل الجيومورفولوجية إلى أن تصل فى نهاية الأمر إلى إزالة الصخور القابلة للإذابة بشكل تام، وكل مرحلة من هذه المراحل تميزها أشكال أرضية محددة.

ولإدراك هذه المراحل المختلفة لتطور الأشكال الكارستية ولفهم العمليات المسئولة عن هذه الأشكال لابد لنا أن ندرك أولاً أنها تظهر فى المناطق الرطبة حيث مكاشف الطبقات الجيرية الأفقية أو قليلة الميل على السطح، وأن أهم ما يسود من هذه الأشكال هى الحفر الغائرة (الهوات) sinkholes وأودية الإذابة، وأن معظم التصريف المائى تصريف تحت أرضى، ومن ثم فقد انعكس ذلك على افتقار الإقليم الكارستى ككل إلى وجود نظام تصريف مائى متكامل حيث يقل عدد الروافد التى عادة ما تكون قصيرة جدًا (Hamblin, W.K and Howard, J1975, p98).

وعلى ضوء ما سبق يمكننا إيجاز مراحل تطور طوبوغرافية الكارست على النحو التالى:-

أ - المرحلة الأولية initial stage :

تنشط الإذابة مكونة كهوفًا وتكهفات تحت أرضية تنمو وتزداد حجمًا بحيث تنهار فى النهاية أسقف هذه الكهوف مكونة حفرًا غائرة تزداد بدورها عددًا وتزداد أحجامها مع اندماج البعض منها مكونة أودية إذابة solution valleys.

ب - المرحلة الوسطى :

عندما تتعدد أودية الإذابة وتترابط مع بعضها البعض، فى هذه الحالة يمكن اعتبار التعرية الكارستية فى مرحلتها الوسطى أو مرحلة النضج والتى تتميز بإزالة

الجزء الأكبر من السطح الأصلى، مع بروز الأشكال الكارستية بشكل واضح فوق سطح المنطقة.

جـ - المرحلة النهائية :

مع استمرار نشاط عمليات الإذابة تنحت المنطقة فى النهاية وتخفض حتى صخر الأديم (صخر الأساس) bed rock الجيرى. وكل ما تبقى على السطح عبارة عن عقد مخروطية conical knolls متخلفة عن عمليات التعرية الكارستية وكذلك تلال مستديرة متناثرة، وقد تستمر مرحلة الشيخوخة هذه إذا ما وجدت طبقات جيرية أخرى تحت السطح.

ثانيا: الأشكال الأرضية الكارستية Karst Landforms

يظهر العديد من الأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بعمليات التعرية الكارستية فى صخور الحجر الجيرى الذى يتميز كما عرفنا بكثرة فواصله ووضوح أسطح طبقيته والتى سرعان ما تصبح أكثر اتساعًا بفعل عمليات الإذابة لتأخذ أشكالاً وملامح أرضية متنوعة تتميز بها المناطق الجيرية فى كثير من أجزاء العالم بعضها يظهر فوق سطح الأرض مثل الحفر الغائرة والمنخفضات الكارستية بأشكالها وأبعادها المختلفة والبوجاز bogaz (تشرشر السطح الجيرى) وفتحات «الدخول» وغيرها، والبعض الآخر مختفيًا تحت سطح الأرض مثل الكهوف وما بها من ملامح جيومورفولوجية تفصيلية مثل النوازل والصواعد والقشور الملحية وكذلك الأودية التحتية العمياء وغير ذلك من ملامح نتجت عن عمليات جيوكيماوية.

وفيما يلى معالجة تفصيلية لأهم الأشكال الأرضية الكارستية:

أ - الحفر الغائرة (الهوات) sinkhloes :

يطلق مصطلح sinkholes أو حفر عميقة أو هوة على المنخفضات المغلقة التى تتكون وتتطور فوق أسطح صخور الحجر الجيرى بفعل عمليات الإذابة المائية المكربنة (عودة، ١٩٨٤، ص١١) وعادة ما تظهر هذه الأشكال فى المناطق الجيرية الرطبة كما أنها قد تظهر أيضًا كما عرفنا فى المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تنشط عمليات الإذابة التحتية.

ومع اختلاف الهوات فى مساحاتها وأعماقها وأشكالها من منطقة إلى أخرى إلا أنها تعـد من أكثر الأشكال الكارستـية وضوحًا. بعض هذه الحـفر التى تتطور فوق سطح جيرى متكهف cavernous تمتلئ بالرواسب القادمة من جوانب التلال القريبة وبعضهـا ذو جوانب شديدة الانحدار تتميز بالعمق، متـخيرة مواضع تقاطع الفواصل الصخرية التى تتحول مع عملية الإذابة التدريجية إلى حفرة عميقة يتوقف شكلها على الخصائص التركيبية التفصيلية للصخر.

وقد مـيز جننج (Jennings, 1971) بين خمـسة أنواع من الحـفر الكارستـية (الهوات) يتمثل أهمها فى نوعين أكثر وضوحًا هما:

١ ـ حـفـر الإذابة solution sinkholes: وتنتج عن عـمليـة إذابة تدريجـيـة للصخور السطحية يطلـق عليهـا أسمـاءً محلـية مثـل swallowholes, sinkholes و swallet و dolinas (جودة، ص٤٥٣).

٢ ـ حفر الانهيار collapse sinkholes : وتنتج عن حدوث عمليات تقويض للتكوينات التحتية بفعل الإذابة مما يؤدى إلى انهيـار الصخور السطحية الجيرية وقد تتصل هذه الحفر ببعضها البعض وتكوّن بالوعات مركبة، كما قد ينتج عن الانهيار تكون أحواض طولية تتميز بجوانبها شديدة الانحدار يطلق عليها فى ساحل دلماشيا الكرواتى تعبـير «بولج» polje (أبو العينين، ١٩٦٦، ص٤٩٩). ويسـتخدم الآن مصطلح « dolin » بشكل واسع فى الدراسات الجـيومورفـولوجية الحديثـة ليعنى جميع المنخفضات الكارستية بأحجامها وأشكالها وأبعادها الجيومورفولوجية المختلفة سواء كانت ناتجة عن الإذابة أم الانهيار[١] .

١ ـ العوامل الجيومورفولوجية التى تساعد على نشأة الحفر الغائرة وتطورها

تتمـثل أهم العوامل المؤثرة فى نشـأة وتطور أبعاد الحفـر الكارستيـة الغائرة بأنواعها المختلفة فيما يلى:

---

(١) تتراوح أعماقها بين بضعة سنتيمترات و ٣٠٠ متر أو أكثر وتتراوح درجات انحدار جوانبها بين ٢٠ و٩٠ درجة.

- خصائص الحجر الجيرى التركيبية والجيولوجية: تتمثل هنا فى كثرة الشقوق والفواصل الصخرية التى تعد بمثابة مناطق ضعف تهاجمها المياه المشبعة بحمض الكربونيك بحيث يؤدى ذلك إلى السماح بتخللها للطبقات الصخرية إلى أسفل - تحت الطبقات السطحية - كذلك تتمثل خصائصه فى تكونه من كربونات الكلسيوم التى تتحول كما ذكرنا إلى بيكربونات كالسيوم قابلة للإذابة خصائصه وخاصة مع تعرضها لمياه مكربنة (حمض كربونيك)(١).

- انحدار هين لسطح الحجر الجيرى وميل محدود لطبقاته مما يساعد على بقاء المياه فترة أطول تمكنها من القيام بعملية الإذابة الكارستية فوق سمك أكبر من الطبقات.

- وفرة الأمطار الساقطة والتى تلعب الدور الرئيسى فى تكوينها.

٢ - بعض القياسات المورفومترية الخاصة بالحفر الغائرة :-

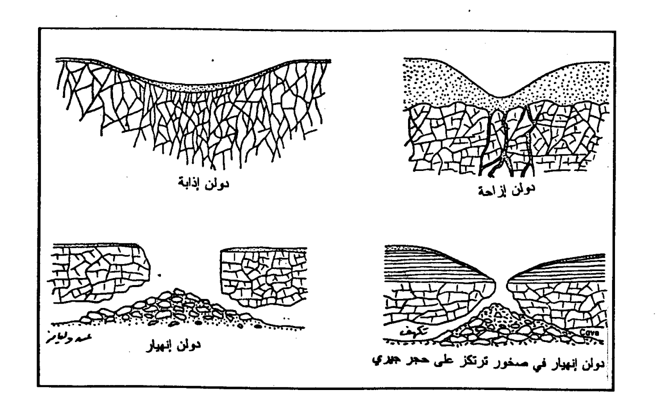
كما ذكرنا سابقًا فإن هناك أنواع مختلفة من الحفر الكارستية منها حفر الإذابة solution dolines وحفر الانهيار collapse dolines وهناك أيضًا حفر الركام وحفر الانهيار فى صخور تعلو الحجر الجيرى وغير ذلك ولكن أهمها جميعًا حفر الإذابة وحفر الانهيار شكل رقم (٧٧).

والواقع أن القياسات المورفومترية المعتمدة على الخرائط والصور الجوية يمكننا من خلالها فقط وصف الخصائص العامة لتلك الأشكال الكارستية ، ومن ثم فإن الخصائص التفضيلية يمكن أن تستقى من القياسات الحقلية.

ورغم سهولة تحديد الأشكال الكارستية إلا أن بعضها مثل معظم الحفر الغائرة - على سبيل المثال - يصعب تحديد نوعها دون عمل اختبار من خلال عمليات حفر excavating وإخضاعها لبعض القياسات المورفومترية، وتحديد بعض الخصائص الظاهرية الملموسة، وتكمن الصعوبة هنا فى كون عمليات الإذابة

---

(١) تكربنت هذه المياه بسبب اتحادها بثانى أكسيد الكربون الموجود بالجو وكذلك الموجود بالصخور (التربةالسطحية) الغنية بالمواد العضوية.



شكل رقم (٧٧)

والانهيار تتـضافر بنسب متـباينة فى إبراز هذه الأشكال (Williams, P.W, P116) وعلى ذلك فإن المنهج المورفومترى هنا يجب أن يركز على قياس خصائص الشكل shape والحجم والتوزيع تاركًا الخصائص الأخرى للعمل الميدانى.

ويمكننا فيما يلى تتبع بعض القياسات المورفومترية للحفر الغائرة على النحو التالى:

ـ كثافة الحفر Dolines Dinsity :ـ

تمثل عدد الحفر الغـائرة لكل وحدة مساحة معـينة ويمكن تحديدها من خلال توقيع الحفـر على خريطة لمنطقة ما معلومة المسـاحة وحساب عددها وقسـمته على مساحة المنطقة ولتكن مثلاً خمس حفر لكل كيلو متر مربع.

وقد أظهرت الدراسات الخاصة بكثافة الحفر الـغائرة وجود علاقة بين كثافتها ومساحاتها كما أظهرت وجود علاقة بين الخصائص التركيبية والليثولوجية للصخور وكثافة الحفر.

ـ معامل طاقة التضرس Relirf Enerfy Ratis :ـ

يمكننا الحصول عليه من خلال النسبة بين عمق الحفرة وقطرها ويرى كل من coleman وبالشن Balchin أن منحنى الحفـر الغائرة الذى ينشأ بمعلوميـة إحداثين أحدهما يمثل العمق والثانى يمثل قطرها سيكون خطا مـستقيمًا إذا ما كانت حفرة إذابة وإذا ما ابتعد الخط عن الاستقامة تكون الحفرة ناشئة بفعل الانهيار.

وقد أظهرت دراسة (عودة) لجـيومورفولوجية «هوات» الجبل الأخضـر بليبيا قياسـات مطابقة للعلاقة السابقـة، فقد أظهرت خطوط العلاقـة بين العمق والقطر عدم انتظام فى شكلها ـ عدم اسـتقامة ـ كما أظهرت الدراسة أيضًـا وجود علاقة بين عمر الحفرة ومعدل طاقة التـضرس وذلك فى حالات حفر الانهيار، حيث إنه كلما صـغر هذا المعدل دل ذلك على تقادم عـمر الحفرة الغـائرة (عودة، ١٩٨٤، ص٢٧).

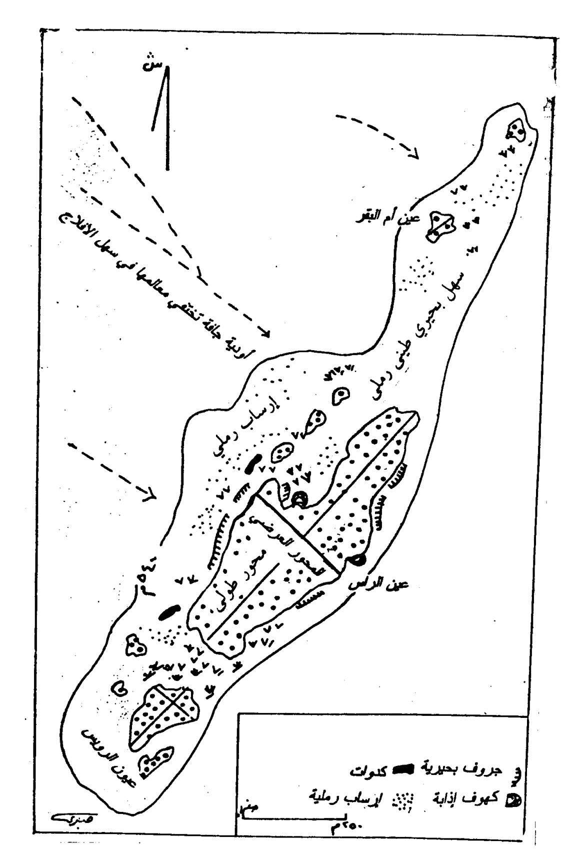
وفى دراسة سابقة للمؤلف بمنطقة التعرية الكارستية فى إمارة الأفلاج بهضبة نجد قام بقـياس معامل طاقة التـضرس للبحيرات الرئيـسية الأربع باعتبـارها حفرًا كارستية ووجد أنه يتراوح بين ٠٤٩, فى بحيرة الرأس و ٢٢, وفى بحيرة الرويس وهو بالطبع معامل منخفض إذا ما رفع على رسم بيـانى فإنه يتخذ خطًا أقرب إلى الاستقامة مما يدل على الأثر الواضح لعـمليات الإذابة بجانب الانهيارات (المؤلف، ١٩٨٦، ١٢٥).

ـ معامل الاستطالة :ـ

يقصد به النسبة بيـن طول الحفرة الكارستية وعرضها ويسـتخدم هذا المقياس للدلالة على الشكل كـذلك للدلالة على تماثل الزيـادة فى الامتـداد السطحى بين الحفر (المنخفضات) الكارستية.

ويوضح الشكل التالى رقـم (٧٨) الملامح المورفولوجيـة لبحيرات (عـيون) الأفلاج باعتبارها حفرًا كارستية ممتلئة بالمياه الجوفية.

كذلك يوضـح الجدول التالى رقم (١٢) أبعـاد هذه البحـيرات. وبحـساب معامل الاسـتطالة لها وجد أنه يبلغ على الترتيب ٢ فـى عين الرأس و١,٣٣ لعين


ش
أودية جافة تختفي معالمها في سهل الإفلاج
عين أم البقر
سهل بحيري طيني رملي
إرساب رملي
المحور العرضي
محور طولي
عين الراس
٥٤٠م
عيون الدريس
جروف بحيرية
كتلوات
كهوف إذابة
إرساب رملية
٢٥٠م

شكل رقم (٧٨)

الرويس و١,٤ فى أم برج ويصل أقصاه فى بحيرة أم هيب الطولية التى تشبه كثيراً حفر البولج polje الكارستية من حيث الشكل والنشأة، فهى تبدو فى شكل مستطيل ضيق يبلغ طوله ١٥٠ متراً وعرضه ٥٠ متراً نشأت بفعل الإذابة التى أعقبها انهيار الأسقف الكهفية وهبوط الممرات التحتية حيث يبلغ معامل استطالتها ٣، أى ضعف معامل استطالة عين أم برج.

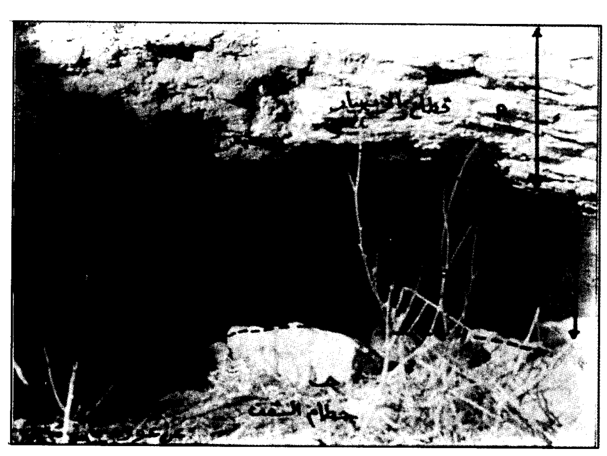
جدول (١٢) أبعاد عيون (بحيرات) الأفلاج بهضبة نجد

العين	أكبر عرض	أكبر طول	المساحة بالمتر المربع	متوسط العمق	أعمق جزء	طول المحيط
الرأس	٦٠٠ متر	١٢٠٠	٢٨,٠٠٠	٢٨,٤	٤٢	٢,٢٥
الرويس	١٥٠	٢٠٠	٢٧,٠٠٠	٢٣,٢	٤٥,٣	,٧
أم برج	١٦٠	٢٢٥	٢٨,٠٠٠	٢٧,٥	٣٤,٣	,٦٥
أم هيب	٥٠	١٥٠	٩,٥٠٠	٣١,٨	٢٢	,٥

المصدر / صبرى محسوب ١٩٨٦

ويلاحظ بشكل عام ارتفاع قيمة معامل الاستطالة فى العيون الأربع وإن تفاوت من بحيرة إلى أخرى، كما يلاحظ أيضًا أنه يتمشى فى علاقة طردية مع زيادة المساحة، وإن دل ذلك على شيء فإنما يدل على تشابهها فى العمليات التى مرت بها كما يدل أيضًا على اقتراب أعمارها من بعضها البعض. ويمكن الرجوع إلى الشكل رقم (٧٨) الذى يبين العلاقة بين محاور البحيرات الثلاث الأخيرة بالجدول السابق ومدى انحرافها عن الشكل الدائرى. ويلاحظ كذلك أن جميع البحيرات ـ وخاصة الكبيرة منها ـ تتخذ اتجاهًا متماثلاً فى امتداد محاورها الطولية من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى، ويتمشى هذا الاتجاه المشترك مع الانحدار البطيء للأرض وميل الطبقات باتجاه الشمال الشرقى، ومعنى ذلك أن هناك علاقة بين اتجاه المحاور الطولية من جانب وكل من الانحدار وميل الطبقات الصخرية من جانب آخر (المؤلف، ١٩٨٦، ص١٢٤).

إلى جانب ما سبق هناك الكثير من القياسات المورفومترية التى يمكن القيام بها لتحديد الخصائص الجيومورفولوجية للحفر الكارستية والتأكد من الكثير من العلاقات التى تربطها ببعضها البعض، فيمكن عمل قطاعات طولية وعرضية للحفر كذلك تحديد اتجاهات ميل المحور وعلاقته بانحدار السطح وميل الطبقات وعلاقته كذلك بالصور التركيبية من صدوع وشقوق وغير ذلك ، وكذلك تحديد أقصى اتساع للحفر عند القاع وإيجاد علاقة ما بين مساحة الفتحة العلوية ومساحة القاع وعمل قطاعات للسفوح الداخلية للحفر وغير ذلك من قياسات تفيد كثيراً فى تفهم جيومورفولوجية الحفر الكارستية (للاستزادة، راجع إمبابى وعبد السلام ١٩٩١). راجع كذلك الصورة رقم (١٧) التى يظهر بها منخفض سبرة بوكرباس شمالى ليبيا ولاحظ منها ما يلى:



صورة رقم (١٧)

هوة سيرة بوكرباس

- السطح الذى حدث عليه الانهيار ويتميز بالخشونة.
- سطح الإذابة المصقول. - حطام سقف المنخفض.

ب ـ السطح الجيرى المشرشر (البوجاز) Bogaz :

تنتشـر ظاهرة السطوح الجيرية المشـرشرة (البوجاز) فى المناطق الجـيرية التى تختفى منها الغطاءات النباتية والتى تتميز بتضرسها وعدم انتظامها. ويقصد بظاهرة البوجاز انتشار سطوح منفصلة عن بعضـها بواسطة قنوات غائرة تتسبب أساسًا عن عمليات إذابة فى صخـور الحجر الجيرى، حيث تتسرب مـياه الأمطار فى الشقوق التى تتـميز بـها هذه الصخـور فتـؤدى إلى زيادة اتساعـها بشكل مـضطرد. ومن العوامل التى تساعد أيضًا فى تكوينها عدم انتظام السطح وكثرة الفواصل الصخرية ودرجة النفاذية العالية التى يتميز بها الحجر الجيرى.

وتنتشر ظاهرة البوجاز أو الأسطح الجيرية المشرشرة فى كثير من المناطق التى تتعرض للتعرية الكارستية وعادة ما تأخذ أسماءً محلية تختلف من دولة إلى أخرى فهى فى إنجلترا تعرف باسم clints وفى فرنسا lapies وتعرف فى ألمانيا باسم kar-ren. وتعد منطقة الحجر الجيرى الكربونى فى يوركـشير ببريطانيا من مناطق انتشار هذه الظاهرة وكذلك منطقة كارست فى دلماشيا بكرواتيا.

توضح الصورة التالية رقم (١٨) مظهرًا لسطح مشرشر فى يوركشير ببريطانيا حيث تتميـز تلك المنطقة بامتداد سطوح من الطبقـات الجيرية الأفقية وشبـه الأفقية تظهر بهـا بوضوح نظم الفواصل الصـخرية joint systems التى تمثل هدفًا للإذابة التى أدت إلى توسـيعهـا وتقطع السطح إلى سلسلة من الكتل الـصخرية المنفـصلة separated blocks بواسطة شقوق يبلغ اتسـاعها أكثر من قـدم واحد وعمق مماثل لهذا الاتسـاع. وهذه الكتل تعرف فى بريطـانيا باسم clints (كمـا سبق ذكـرها) وتعرف الشـقوق الغائرة الممتـدة امتدادًا طوليًـا بينها باسم grikes، ويعرف الملمح الجيـومورفولوجى ككل برصـيف الحجر الجـيرى limestone pavement وإن كان البعض يرى بأن هذا الرصيـف الجيرى الذى يظهر فى شمـال إنجلترا ربما يكون قد نشأ فى البداية تحت غـطاء نباتى ولكنه انكشف حديثًا بعد تـعرض المنطقة لظروف مناخية جافة (Sawyer, k.E, P121).



صورة رقم (١٨)

وجدير بالذكر أن بعض الأشكال الناتجة عن الإذابة الكارستية تظهر فوق سطح الهضبة الوسطى بصحراء مصر الغربية، أهمها حفر الإذابة التى عادة ما تتخير مواضع الشقوق وتقاطعات الفواصل الصخرية بطبقات الحجر الجيرى، وتبدو فى أعاليها دائرية الشكل تحيط بها جوانب منحدرة وهى بطبيعة الحال ظاهرات كارستية موروثة تكونت خلال فترات المطر السابقة pluvial periods وتوجد أيضًا مثل هذه الحفر فوق سطح هضبة «الصمان» شرق المملكة العربية السعودية وتعرف هناك باسم «الدحول».

ويوجد إلى الشرق من منخفض الخارجة سطوح جيرية غير منتظمة واسعة المساحة تنتشر فوقها درنات صخرية concretions مختلفة الأحجام من الصوان تتراوح أقطارها ما بين المتر ونصف المتر وهى عبارة عن تكوينات سليكية ـ أكثر صلابة من الصخور الجيرية ترسبت فى شكل عقد مع الصخور الجيرية أثناء ترسب الأخيرة، وعندما تعرض الصخر الجيرى للتجوية الكيماوية (الإذابة الكارستية)

نتيجـة لنشاط المياه الجوفـية أو مياه المطر ـ خـلال فترات المطر السابقـة ـ فقد تآكل تاركًـا على سطح المنخـفض تلك الدرنات أو العـقد الصـوانية الـتى لم تستـجب لعمليات الإذابة بنفس درجة استجابة الصخور الجيرية فيبدو السطح فى مظهره يشبه ما يعرف جيومورمولوجيا بـ «بحقول الجلاميد» boulder fields ويعرف محليًّا باسم « وديان البطيخ » وتعـرف الجلاميـد نفسهـا بـ (البطيخ المسخوط) نظـرًا لشكلها الدائرى أو شبـه الدائرى. كذلك يوجـد مظهر الخرافـيش وهو سطح جيرى غـير منتظم أقـرب إلى شكل الرصيف الجـيرى الكارستـى يظهر فى مناطق واسـعة من سطح الهضبة الجيرية الإيوسينية الوسطى بالصحراء الغربية.

جـ ـ الكهوف الكارستية karast Caves :

الكهوف الكارستيـة ببساطة عبارة عن ممرات تمتد تحت سطح الأرض مقـتفية فى امتداداتهـا المفاصل والشقوق الصـخرية حيث إن الأخيـرة هى التى تحدد أنماط الكهوف وأشكالها المختلفة.

وتظهر الكهوف الضخمة فى المناطـق الجيرية وخاصة فى المناطق الرطبة ومن أمثلتها كهف ماموث Mammoth Cave بولاية كنتكى الأمريكيـة حيث يبلغ طوله ٣,٥ كيلومتر أو نحو ١٩٧ ميلاً وكهف «ماجور كان» Major Can فى جزر البليار وكهف كـارلسباد بنيومكسـيكو والذى يبلغ طوله ٤٠٠٠ قدم وعرضـه ٦٠٠ قدم وارتفاعه نصف عرضه.

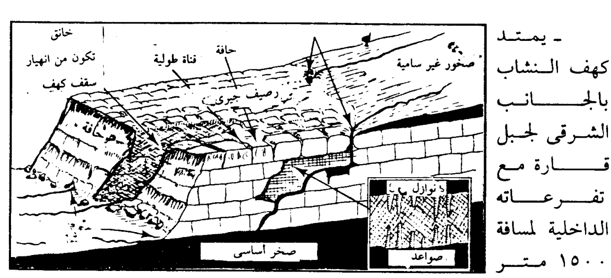
وتعد هذه الكهوف مناطق لإعادة ترسيب الكربونات وتكوين الأووز ooz فى الشقوق المـنتشرة بأسقفـها وحوائطها. فـتتكون بها الأعمـدة الترافرتينيـة الصاعدة والمعروفة بالصواعد up ward groing stalagmites والأعمدة الترافرتينية الهابطة المعروفـة بالنوازل down ward growing stalactites والتى تظهـر فى كثـير من الأحوال متصلة ببعضها البعض مكونة أعمـدة طبيعية من الترافرتين (الحجر الجيرى الكيماوى) حيث يتشـابك عمودان ليتكون عمود واحد يتميـز بسمكه الكبير يعرف بالعمود الترافرتينى travertine pellar وقد يكون هـذا العمود نتـاج امتـداد أحد

الصواعـد حتى سقف الكهف أو امـتداد أحد النوازل حـتى قاعه، كـذلك توجد أعمدة تنمو فى وضع أفقى أو تـنمو فى وضع مائل على شكل خطوط مائلة يطلق عليها تعبير هاليستايت halictite. وتتكون مثل هذه الملامح المورفولوجيـة الدقيقة داخل الكهوف نتيجة لتبخر جـزء من المياه التى تنساب داخلها، فعندما تتخلل المياه الشقـوق باتجاه قـاع الكهف فإن جزءاً منه يـتبخـر تاركًا رواسب جيـرية كيـماوية ومتبخرات evaporites تنمو إلى أعلى فـى وضع رأسى مكونة عمودًا صـاعدًا أو مائلاً (هاليستيت) وعندما يتبخر الماء على سقف الكهف قرب الشقوق فإنه يترك ما به من جيـر مذاب ينمو إلى أسـفل فى شكل عمـود هابط، وكل ذلك نتيجـة ما يرتبط بعمليات التبخر من مكون عقـد من كربونات الكالسيوم المترسبة فى المواضع سالفة الذكر.

وعادة ما تأخذ رواسب الكهوف اللون الأبيض، ولكن عندما تزداد بها نسبة أكاسيد الحديد والمغنسيوم والنحاس يتحول اللون المبيض إلى الغمقة.

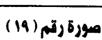
بالإضافة إلى التـرافرتين العادى وتكوينات الأووز فقـد تغطى النباتات التى تنمو بها بطبقة جـديدة من الرواسب التى تظهر فى شكل صخر إسفنجى spongy rock تعرف بالطوفـا وهى صخور ذات تكوينات عضـوية.ارجع إلى الشكل التالى رقم (٧٩) الذى يبين رسمًا توضيحيًا للأشكال الكارستية الرئيسية. توضح الصورة التالية رقم (١٩) أحد الكهوف الـكارستية عند حضيض حافة جبليـة بهضبة نجد ، لاحظ امتـداد الكهف بضيق نحـو الداخل وامتداد الفـواصل والشقـوق فى سقف الكهف الذى يتميز بخشونة أسطحه بسبب تعرضه لعمليات انهيارات صخرية.

وقد قام المؤلف بدراسة لكهف النشاب (غـار النشاب) بجبل «قارة» بواحات الإحساء ، وقد اعتمد فى دراسته على الخـرائط الكنتورية والقياسات الحقلية، وقد أظهرت هذه الدراسة العـديد من الخصائص الجيومـورفولوجية التى يتمـيز بها هذا الكهف والتى يمكن إيجازها فى النقاط التالية:



شكل رقم (٧٩)

- يمتد كهف النشاب بالجانب الشرقى لجبل قارة مع تفرعاته الداخلية لمسافة ١٥٠٠ متر شكل رقم (٨٠).

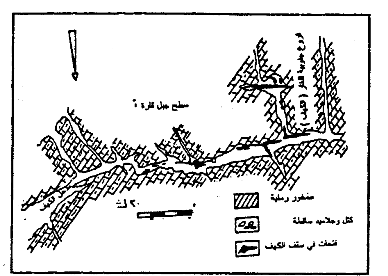


صورة رقم (١٩)

- تمتد من الكهف تفرعات رأسية تتصل بسقف الجبل إلى أعلى ويقع الكهف على منسوب ١٤٥ مترًا وقد ساعدت الفواصل الصخرية على انزلاق وانهيار كتل الحجر الجيرى الرملى فى مدخل الكهف وعلى طول امتداده داخل كتلة جبل « قارة » كما يتضح ذلك من الشكل السابق رقم (٨٠) وخاصة مع ارتكازها على تكوينات طينية هشة صورة رقم (٢٠).

- لوحظ امتداد الفتحات فى سقف الكهف مع استقامة أغلب القنوات الكهفية وتعامدها مع امتداد الكهف الرئيسى وكثافتها بالجانب الجنوبى منه.

- تدل القنوات الخانقية التى تنتشر فى قيعانها تراكمات الحصى المستدير rounded gravels على حدوث نحت مائى نشط فى فترات سابقة أكثر رطوبة من الظروف الحالية.



شكل رقم (٨٠) غار (كهف النشاب) بجبل قارة

ـ يظهر سطح كتلة جبل قارة مـقطع بفعل قنوات تمتد فى نمط شجرى تصل أعماقها إلـى أربعة أمتار فى المتوسط مع اتساعات تصل إلى بضعـة أمتار مما يؤكد نشاط التعرية المائية القديمة.

ـ توجد بعض الحفر الكارستية (حفر الإذابة) والتى تعرف محليًا «بالدحول» قد تبدو قمعية الشكل، وقد تظهر ممتدة فى شكل طولى فيما يشبه حفر «الأوفالا» وربما تكون قـد تكونت نتيـجة اتصـال أكثر من «دحـل» أو قد تكون نتـاج اتساع الشقوق الموجودة بكثـرة فى صخور الحجر الجيرى بهـذه المنطقة. (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٠ (ب)، ص١٢٠). راجع كـذلك صـورة (٢٠ب) الـتي توضح مدخل كهف كارلسباد.

د ـ الأنـهار تـحت الأرضـية Subterranean Streams وما يـرتـبـط بـها من ملامح سطحية:

تتطور أشكال أرضـية عديدة نتـيجة تضـافر العمليـات التى تقوم بهـا المياه السطحيـة مع تلك العمليـات المرتبطة بالمياه تحت الأرضيـة وذلك عند المناطق التى يمر بها النهر ويختفى تحت سطح الأرض.

وتعد الحفـر الطولية الغائرة swallow holes أكثر تلك الملامـح انتشارًا وهى عبارة عن حوض صـغير مغلق enclosed basin ينساب النهر خلاله مـتجها تحت السطح، وعند مـوضع دخوله يـكون تيار الماء بالنهـر الغـائر تحت السطح، وعند موضع دخوله يكون تيـار الماء بالنهـر الغائر sinking stream عنيفًا منـدفعًا بقـوة

مما يؤدى به إلى التأثير بوضوح على الخصائص الجيومورفولوجية لهذا الموضع، وتعمل التعرية الكارستية الكيماوية corrosion بشكل مباشر وغير مباشر على توسيع الشقوق fissures وإحداث انهيارات ، وعندما يكبر الحوض المغلق فإنه يتطور إلى حوض طولى مع نهاية منحدرة تعرف بالأودية العمياء blind valleys تسود بها نفس العمليات الكارستية. وقد تؤدى زيادة كميات المياه وزيادة نشاط الإذابة الجانبية lateral solution إلى تطور شكل الوادى إلى «بولج» كارستية هامشية karst margin polje[1].



صورة رقم (٢٠)

وعادة ما يتميز سقف الكهف فى القطاع الأدنى من النهر الأعمى برقته (قلة سمكه) ولذلك فإنه نظرًا لنشاط التجوية الكيماوية والتغيرات الحادة فى الضغط مع

(١) عبارة عن تجويف طولى متسع يرتبط بالنحت الكيماوى السطحى أكثر من ارتباطه بالنحت الكيماوى للمياه تحت الأرضية.

تذبذب تصرف النهـر تحدث انهيارات للسـقف وخاصة إذا مـا كانت تعلو الكهف تكوينات من صخور غـير جيرية (williams p113) ومع تحرك النهـر الأعمى فى صخـور ما تحت السطـح لأعماق وأبعـاد أكبـر تقل مع طوله أشكال الانهـيارات السـطحيـة التى تـصعب من تتبـع مجراه السفلى على العكس من الأنهار الضحلة - أى التى لا تتعمق فى صـخور ما تحت القشرة لمسـافات بعيدة - فيـمكننا بسهولة تتبع جريانها من خلال الآثار الكارستية السطحية الموجودة على طول امتداداتها.

ويتمـيز مـوضع انبعاث النهـر على السطح resurgence بشدة انـحداره مع حـدوث تراجع سريع نحـو أعالى النهـر التـحتى من خـلال عمليـات التقـويض والانهيار أو باتجاه أدنى النهر downstream فعادة ما يتـدفق ماءه فى خانق gorge قد تظهر به بقـايا لأسقف كهوف مكونة أقواسًا ضـيقة natural narrow arches، وتظهر هذه الخوانق بدورها عندمـا تنبثق المياه الجوفية على السطـح وخاصة عندما تتقـابل وصلات الحجر الجـيرى junctions والطبـقة غيـر المنفذة للمـاء، (سطح الأرض الخارجى) راجع الشكل رقم (٨١).

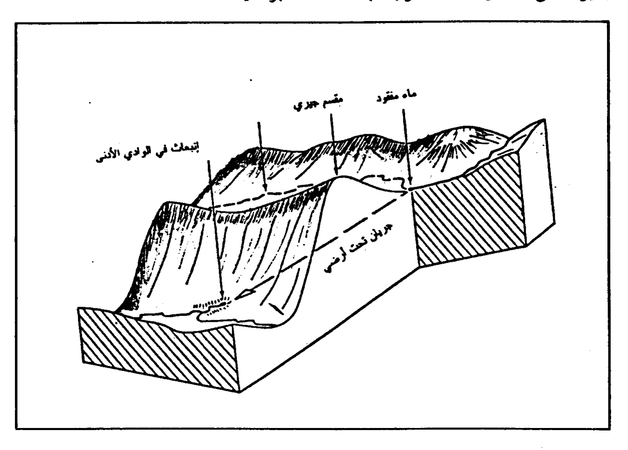
وجدير بالـذكر أن الأنهار التـحتـية تقوم تقـريبًا بنفس الدور الـذى تقوم به الأنهار السطحية من نحت وإرساب تدل على ذلك الرواسب الطينية والحصوية التى تظهر فى بعض المواضع بقيعان هذه الأنهـار التحتية (أبو العز، ١٩٧٧، ص٢٦٠) إلى جانب الحفر الوعائية (القدور) pot holes التى كثيرًا ما تظهر فى قيعان الكهوف والمغارات وكـذلك على طول قيعان الأودية التـحتيـة فى مواضع معينة بالصـخور الجيرية.

ويجدر القول بأن الآثار الجيومورفولوجية للمياه تحت الأرضية لا تقتصر على ما ذكرنا فحسب بل يمتد أثرها إلى إبراز العديد من الملامح الأخرى المميزة لمواضع مـعـينة من سطح الأرض مـثل تلك التـى توجـدها الينابيع الحـارة hot springs والنافورات المائية geysers.

وإذا كانت الملامح الكارستية قـد نتجت عن مياه جوية - water meteoric - سطحية أم جوفـية - فإن النافورات والينابيع الحارة وما ينتج عـنهما من أشكال قد نتجت أساسًا من المياه الصهارية النشطة juvenile water والتى تكونت كمياه باطنية خـلال قشـرة الأرض لأسباب كيماويـة وذلك من خلال احتكاكها بالصخور الحارة

أو الصهارة النارية (الماجما) magm، ولا تلعب هذه المياه دوراً فى الدورة الهيدرولوجية hydrological cycle إلا إذا خرجت إلى السطح فى شكل نافورات وينابيع.

وتظهر مثل هذه الملامح فى بعض المناطق مثل شمال ولاية كاليفورنيا وجزيرة نيوزيلند الشمالية وبعض جزر الوشيان وجزر اليابان وإيسلند وصقلية وغيرها من مناطق عادة ما ترتبط بالنشاطات البركانية.



شكل رقم (٨١)

وتوجد ينابيع أولد فيثفول old faithfull springs فى منطقة يللوستون ناشيونال بارك الأمريكية التى تندفع منها كميات من المياه تتراوح ما بين ١٠ و ١٢ ألف جالون فى الساعة تصحبها انفجارات شديدة تؤدى إلى إحداث تغييرات فى ملامح سطح الأرض المتاخمة لها. ويوضح الشكل رقم (٨٢) قطاع توضيحى لإحدى (النافورات) الينابيع الحارة بأيسلندا يظهر خزانات المياه والصهارة تحت القشرة.

ويبدو أثر الينابيع والعيون الطبيعية فى تشكيل سطح الأرض فيما يعرف بتكوين رواسب الترافرتين التى تظهر حول العديد من هذه العيون بعد تبخر المياه

قرب السطح، وهذه الرواسب الجيرية الكيماوية تمثل مظهراً مورفولوجيا مميزاً يعرف بظاهرة أقماع المنخفضات depression cones التى كثيراً ما تظهر بالواحات الصحراوية مثل تلك الموجودة بوادى سرحان وصحراء الأردن وواحات مصر الغربية.

ومن الملامح المورفولوجية الدقيقة ـ واسعة الانتشار ـ تلك الأحواض أو الحفر التى تتراوح أشكالها ما بين البيضاوى والدائرى ومساحات تتراوح ما بين بضع مئات من الأمتار و ١٥ كيلومتراً. وتبدو هذه الحفر التى تتكون وسط سهول نحاتية فوق الهضبة الجنوبية بالصحراء الغربية بقلة أعماقها ـ التى لا تزيد فى معظم الأحوال عن ٤٠ متراً مع ظهور بعض الكتل الصخرية والجلاميد التى نتجت عن انهيار جوانبها كما أنه كثيراً ما تظهر قيعانها متأثرة ببرى الرياح التى تعرضت لها فى مرحلة لاحقة من عمليات الإذابة الكارستية التى أنشأتها فى البداية حيث كثيراً ما تظهر فى قيعان بعضها رواسب بحرية lacustrine deposits أو تكوينات الحجر الجيرى الكيماوى (الترافرتين) التى نتجت عن حدوث ترسيب بفعل المياه تحت الأرضية (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٢، ص١٦٠).

ويلعب النشع الينبوعى spring sapping دوراً جيومورفولوجيا بارزاً فى تقويض وهدم جوانب الينابيع ومن ثم فى تطور الأودية التى تنبع منها (من خلال عمليات النحت التراجعى جهة المنبع) كما يعد عاملاً هامًا فى تطور ونمو حافات الوادى، وتظهر عمليات التقويض الينبوعى وما يرتبط بها من أشكال فى مناطق كثيرة بواحات مصر الغربية وكذلك فى مواضع مختلفة بهضبة نجد ، ففى الأولى سجل المؤلف العديد من ملامح التقويض الينبوعى وبواحة سيوه قرب مدينة سيوه. وفى هضبة نجد تعد «عين الهيت» مثالاً واضحًا على حدوث عمليات التقويض الينبوعى وهى عين جوفية قرب مدينة الرياض حيث يقع منسوب الماء الجوفى على عمق أبعد من ١٣٠ متراً من السطح، ويبدو من المظهر العام للمنطقة حدوث هبوط فى الطبقات التحتية بسبب تشبعها بالمياه (وذلك لارتفاع مساميتها) مما أدى إلى حدوث تصدع فى الطبقات العليا للحافة التى تعلو موضع العين والتى يتكون بعض أجزائها من صخور كارستية جيرية وطباشيرية.



شكل رقم (٨٢)

ومن الملامح الأخرى التى يجب ذكرها هنا قبل الانتهاء من التعرية الكارستية :

- الملامح الناتجة عن عملية الإحلال replacement ويقصد بها ترسيب بعض المواد المعدنية التى تحملها المياه تحت الأرضية محل المادة العضوية organic matter ومن أمثلة ذلك ما تتعرض له جذور الأشجار القديمة فى مناطق معينة من تحجر lithification بسبب ما تخلل فى أنسجتها من مياه جوفية سيليكية استقرت بها فترة زمنية طويلة مما أدى إلى إزالة بطيئة جداً للمادة العضوية (الخشبية) وإحلال السيليكا محلها لتتحول فى النهاية إلى الصورة التى نراها عليها الآن كأخشاب متحجرة petrified تحتفظ بشكلها الأصلى ولكن فى مادة سيليكية، ومن الأمثلة على ذلك ما يوجد فى مواضع على طول طريق القاهرة السويس وكذلك شرق مدينة القاهرة من أخشاب متحجرة ترجع إلى عصر الأوليجوسين.

- تكون عروق veins من المواد المذابة وأغلبها من الكالسيت حيث تعد الشقوق والفواصل من المناطق أو المواضع التى تتعرض لترسيب تلك المكونات

عندما تتخللها المياه الجـوفية ثم تتبخر بعد ذلك تاركة مـثل هذه الملامح فيما يعرف بالعروق والتى أحيانًا ما تتكون من صخور اقتصادية يمكن استغلالها.

كما يعد مسام الصخر من أكثر المواضع التى يحدث بها ترسيب بواسطة المياه الجوفية حيث تترسب فى فراغاتها البينية voids المواد اللاصمة لها من جير أو مواد حديدية أو سيليكية (للاستزادة راجع حسن وزملاؤه ١٩٩٠، ص٣١٢ ـ ٣١٤).

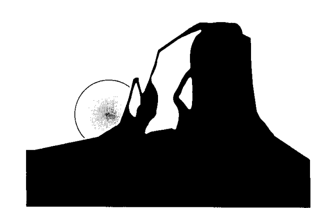
من الملامح كذلك ما يعرف بخطوط الذوبان styoliteo وهى خطوط متعرجة تظهر داخل صـخور الكربونات وخاصة فى المناطـق غزيرة المطر وينتج هذا الملمح بسبب ما يعـرف بالإذابة الانتقائية أو التـفاوتية differential solution على أسطح الطبقـية بالصخور الجـيرية (والكربونية) التى تتسـرب إليها المياه تحـت الأرضية ، وتنتج هذه العمليـة الأخيرة بسـبب عدم نقاء هذه الصـخور واختـلاطها بتكوينات ومعـادن كثيرًا مـا تكون غير قـابلة للذوبان ؛ مما يؤدى إلى إذابة الصخور الجـيرية بمعدل أسرع منها ينتج بالتالى تعرج فى سطح الصخر الذى تعرض للإذابة.

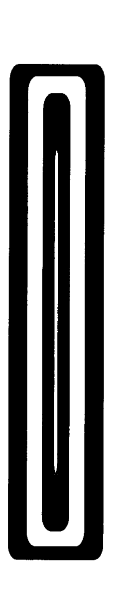


صورة (٢٠ ب) توضح مدخل كهف كارلسباد بجبال جواداكوب بنيومكسيكو



الفصل السابع





العمليات الهوائية والأشكال الأرضية المرتبطة بها

تلعب الرياح دوراً جيومورفولوجيا هاما فى تشكيل سطح الأرض وخاصة فى المناطق الجافة والكثير من السواحل المنخفضة فى العالم.

والواقع أن الأشكال الأرضية الرئيسية التى تتركها الرياح - كبصمات لها فى تلك المناطق تعكس بشكل كبير خصائصها من حيث السرعة velocity والاتجاه direction وفترة الهبوب duration، وعلى ذلك فإن من الأهمية بمكان عند دراسة تلك الأشكال والملامح - سواء ما كان منها نتاج نحت ريحى أو نتاج إرساب - أن يركز من يدرسها على تحليل قياسات سرعة الرياح واتجاهها وربطها مع محاور اتجاهات تلك الأشكال وأحجامها وخصائص رواسبها (حبيباتها الحجمية) وتوزيعها. وهذه القياسات والبيانات متوافرة فى محطات الأرصاد المختلفة، كما أنه من المفيد أيضًا فى هذا الاتجاه الحصول على معلومات خاصة بنظام الرياح وذلك من خلال عمل محصلات لها وخاصة مع ما أكدته كثير من الدراسات ومنها تلك الدراسة التى قام بها لاندسبرج Landsberg 1956 من أن هناك علاقة قوية بين محصلة الرياح واتجاه تحرك الكثبان الرملية فى نمط محدد ثابت (warren, A., 1979, p85).

وكما سترى فيما بعد فإن هناك خمسة عوامل رئيسية بالإضافة إلى بعض العوامل الأقل أهمية تشترك فى تحديد الخصائص التى تميز الأشكال الناتجة عن العمليات الهوائية areal processes، تتمثل فى سرعة الرياح wind speed ودرجة اضطرابها وخشونة السطح surface roughness وتلاحم التكوينات السطحية cohesion وأحجام الحبيبات grain size وخصائص الغطاء النباتى vegetation cover والأخيرة ترتبط مع الرياح بعلاقة عكسية، فكلما قلّت كثافة النباتات أدى ذلك إلى زيادة سرعة الرياح وزاد بالتالى من قدرتها على التأثير الجيومورفولوجى فى عمليتى النحت والنقل، وكذلك الحال مع درجة تلاحم التكوينات وخشونة السطح.

أولاً - النحت بفعل الرياح :

أ - العمليات الخاصة بالنحت وضوابطها :

أظهرت العديد من التجارب العملية أن هناك ارتداداً للرياح يحدث عكس الاتجاه العام لهبوبها وذلك بسبب احتكاكها بسطح الأرض، وعندما تكون هادئة

وتهب فوق سطح أقل خشونة فإن تيار الهواء يبدو متراصفًا laminer بمعنى أنه يكون أكثر انتشارًا على سطح أرضى متسع نسبيا، مما يجعل العمل الجيومورفولوجى الذى يقوم به محدودًا، حيث إن الرياح المؤثرة فى تشكيل سطح الأرض هى تلك الرياح السريعة المضطربة التى تبذل طاقتها الزائدة فى رفع الذرات وتشكيل الأسطح التى تحتك بها.

وجدير بالذكر أن رفع الذرات (الجزيئات الصخرية) particles من سطح الأرض بفعل الرياح يتم عندما تتغلب كل من قوة القص shearing force وقوة التصادم الناتجة عن القذف ballistic impact على كل من قوة الجاذبية gravity force ودرجة تلاحم الحبيبات الصخرية وتتغلب كذلك على الاحتكاك friction بسطح الأرض.

وفى النقاط التالية إيجاز لتلك العوامل المذكورة ودور كل منها فى عمليات تحريك المفتتات بفعل الرياح :ـ

١ ـ رفع الحبات بفعل الرياح:

عندما ينخفض الضغط الإستاتيكى فوق قمة حبة الرمل عنه على كلا جانبيها (المواجه للرياح والمظاهر لها) ترتفع الحبة فى الهواء فى وضع رأسى يشبه فى ميكانيكياته ما يحدث للطائرة عند بداية تحركها، حيث ينخفض ضغط الهواء بسبب السرعة الشديدة،وهذا ما يعرف بقانون أو أثر برنوللى Bernouly، ففى حالة الحبات الرملية يحدث تباين شديد بين حركة الهواء البطيئة للغاية خلال الفراغات البينية للحبات وحركة الهواء فوقها مما يساعد على انخفاض الضغط أعلاها، ومن ثم ترفع الحبة فى بداية الأمر فى وضع رأسى إلى أن تدخل مجال الرياح السريعة فيتسطح مسارها، وعندما ينتهى أثر القوى التى أدت إلى تحركها (رفعها) تبدأ الحبات فى التساقط بسبب وضوح أثر الجاذبية، وعند اصطدامها بسطح الأرض قد ترتفع مرة أخرى فى الهواء عن طريق القفز saltation وقد تصطدم بحبات رملية أخرى فترتفع الأخيرة بالاندفاع (الدفع) والقفز (Cook, R and Doornkamp, J, p33 - 35).

٢ ـ القص shearing :

يعد القص قوة الدفع الرئيسية فى نقل الحبات بواسطة الرياح حيث يحدث القص على السطح بمفهوم بسيط نتيجة لحدوث اختلاف فى الضغط على كلا جانبى الحبة فتتحرك إلى الأمام، وتستثنى من القص الحبيبات الدقيقة التى تحتمى بين الحبات الأكبر حجمًا مثل الرمال الخشنة والحصباء والحصى. وقد تؤدى قوة القص إلى رفع وتحريك أمامى لحبة رملية تتدحرج فوق حبة أكبر منها وقد لاحظ Bagnold هذه الحركة الأمامية للحبات الرملية قبل رفعها وذلك من خلال تجاربه المعملية العديدة.

وجدير بالذكر أن الأسطح الناعمة تساعد كثيرًا عمليات القص فى القيام بدورها، فالحبيبات الدقيقة يكون من الصعب عليها مقاومة قوة القص إذا ما كانت ترتكز فوق سطح شديد النعومة يخلو من الحصى الذى يمكنها من الاختباء داخل فراغاته البينية voids. ويتأثر القص مثلما الحال مع الرفع بالدوامات الهوائية والتى كثيرًا ما تحدث فى الرياح التى تهب فوق سطوح حصوية خشنة وتتولد أحيانًا ذبذبات فى السرعة والضغط على السطح تنعكس على الحبات المتراكمة فوقه والتى تستجيب بسرعة واضحة لتلك الذبذبات، وتتحرك بشكل فجائى فى جيوب من الضغط المنخفض، وحيث يتفوق القص على الاحتكاك تبدأ حركة عامة للحبيبات يطلق عليها عملية الجر أو السحب بفعل الرياح wind entrainment.

٣ ـ التصادم بالقذف :

حيث يتم فى بداية الأمر تحرك كميات محدودة من الحبات، يعقب ذلك مباشرة تحرك أغلب الحبات المنقولة عن طريق التصادم الناتج عن القذف، والمقصود بهذا أنه عندما تتساقط الحبات التى تم رفعها عند تلاشى أثر القوة التى رفعتها ووضوح أثر الجاذبية فإنها تصطدم بالسطح أو بالحبات التى توجد فى وضع مستقر فوقه أو تكون زاحفة ببطء، مما يؤدى إلى التحرك بطريقة القفز saltation أو الاندفاع، وقد يصل ارتفاع المسار المنحنى للحبات القافزة trajectory إلى مترين معتمدًا فى معدل ارتفاعه على حجم الحبات وخشونة السطح وذلك لوجود علاقة عكسية بين ارتفاع الحبات القافزة وأحجامها. ويبلغ طول المسار المنحنى للحبة فى الظروف العادية عشرة أمثال الارتفاع عن سطح الأرض، وحيث ترفع حبة

أو حبتان فى الهواء يعقب ذلك تكون منطقة نشاط وإثارة لباقى الحبات فيما يعرف بعملية avalanching.

وعمومًا، فإن معدل الحركة والبرى abrasion يزداد كلما زادت كمية المواد السائبة فوق سطح الأرض.

والحقيقة أن العمليات الثلاث السابقة تعد عمليات رئيسية فى تحرك المفتتات وإثارتها، ولكى يكون تأثيرها واضحًا فلابد لها إذن أن تتغلب على العناصر الثلاثة التالية والتى بدورها تعمل على استنفاد جزء كبير من طاقة الرياح wind energy ومقدرتها على العمل الجيومورفولوجى فيما يتعلق بإمكانية تحريكها للحبات وبريها للصخور التى تقابلها.

وتتمثل تلك العناصر فيما يلى:

١ ـ الجاذبية Gravitation :

كما عرفنا يعد المسار المنحنى للذرات أو الحبات القافزة فى الهواء انعكاسًا واضحًا للعلاقة بين سرعة الرياح وحجم الحبة والجاذبية الأرضية ويعنى سقوط الحبيبات على الأرض تفوق الجاذبية على قوى القص والرفع.

فإذا افترضنا وجود حبات صخرية بنفس الكثافة النوعية specific gravity فى هواء متجانس فى كثافته النوعية أيضًا فإن حجم الحبات فى هذه الحالة سيكون العامل الرئيسى الذى يلعب دوره مع الجاذبية الأرضية، أو بمعنى آخر أن قوة الجاذبية فى هذه الحالة تقاوم الحركة تبعًا لاختلاف حجم الحبات.

وجدير بالذكر أن أغلب الرمال تتكون من الكوارتز (كثافته النوعية ٢,٦٥ جرام/ سم٣) وإن كانت الرمال كثيرًا ما تختلط بمعادن أثقل وزنًا مثل الماجنيتيت أو قد تختلط بمعادن أخف وزنًا مثل الجبس، كما يتميز الصلصال بأن كثافته النوعية أقل من الرمال وكذلك الحال مع المواد العضوية.

بالنسبة للحبات التى تتميز بتجانس كثافتها النوعية نجد أن هناك علاقة مباشرة بين حجم الذرات وسرعة الرياح المطلوبة لبدء تحريكها، فالحبات ذات الأقطار الأكبر من واحد ملليمتر تتطلب رياحًا شديدة السرعة لكى تحركها، وعادة

ما تتحرك مع رياح تهب فى تيار سريع متحرك بين عقبتين. ويرى شيبل Chepil فى ذلك أن نحت المواد الصخرية يزداد فى معدله إذا ما قلت نسبة الحبات التى تزيد أقطارها على ٨٤, ملليمتر (Cook, R, and Doornkamp, pp55 - 56).

٢ ـ التلاحم Cohesion :

يعد التلاحم بين الحبات الصخرية القوة الرئيسية بعد الجاذبية التى تقاوم عمليات النحت والجر بفعل الرياح، وعادة ما يكون التلاحم أو التماسك بين الحبيبات الأقل من ١, مللم كبيرًا، حيث تتميز تلك الحبيبات بعدم انتظام شكلها كما أنها تبدو مفلطحة platy مما يساعد على تماسكها ببعضها البعض.

وتلعب الرطوبة (الترطيب) wetting دورها الكبير فى تماسك الحبيبات الدقيقة مثل الصلصال والسلت (الغرين) حيث تتشرب فيها المياه ببطء وبالتالى فإنها تحتفظ بها فترة طويلة عكس الحبيبات الكبيرة الحجم مثل الرمال التى تتميز باتساع نسبى لمسامها مما يجعل المياه تتشرب خلالها بمعدل سريع وبالتالى فإنها تجف بمعدل أسرع من الحبيبات الدقيقة.

وعادة ما تكون درجة مقاومة الصلصال والغرين كبيرة أمام عمليات النحت الهوائى وذلك فى حالة تشبعها بالمياه، بينما نجدها عندما تجف تكون ضعيفة وتصبح بمثابة صيد يسير للرياح. وتعد تكوينات تربة اللويس (الطيس) واسعة الانتشار دليلاً واضحًا على ذلك.

وجدير بالذكر أن قدرة التكوينات الغرينية والصلصالية على مقاومة النحت تعتمد فى جزء كبير منها على نسبتهما إلى بعضهما ونسبتهما إلى حبات الرمل، ويذكر فى ذلك كل من شيبل Cheipl وودروف Woodruff أن اختلاط الصلصال بالرمال يعد أكثر صلابة ومقاومة للنحت الهوائى بالمقارنة بخليط من الغرين والرمل، ويذكران بأن أكثر التكوينات المتلاحمة مقاومة للنحت وأكثرها ثباتًا هى تلك التى تتكون من ما بين ٢٠ - ٣٠٪ من الصلصال و ٤٠ - ٥٠٪ و ٢٠ - ٤٠٪ رمال ويختلف التلاحم هنا عنه فى الصخور الرسوبية أو النارية القديمة والتى لا تتعرض للنحت الهوائى منها سوى الأجزاء الخارجية فقط أو المكشوفة.

٣ ـ الاحتكاك Friction :

يعد احتكاك الرياح والحبيبات بسطح الأرض مجهودًا إضافيًا يبذل منهما فى اتجاه معاكس لاتجاه حركة الجر السائدة، وبذلك يعطى مقاومة إضافية بجانب الجاذبية والتلاحم بين الحبيبات.

ويؤدى الاحتكاك بالسطح إلى تبديد جزء كبير من طاقة الرياح وتحويلها إلى حرارة قرب سطح الأرض وهذا ما يشبه كثيرًا ما يحدث لمياه الأنهار عند احتكاكها بالقاع والجانبين. وكذلك ما يحدث مع الأمواج عندما تقترب من المياه الشاطئية الضحلة مما يؤدى بها إلى الاحتكاك بالقاع والتكسر أو الانحراف refraction نتيجة لتغير سرعتها.

ويرتبط نظام النحت بفعل الرياح ارتباطًا أساسيًا بثلاثة متغيرات ـ variables ـ رئيسية تتمثل فى رطوبة التربة أو السطح الصخرى ، وقد أشير إلى ذلك آنفًا حيث إن احتواء التكوينات الصخرية على المياه يحد كثيرًا من قدرة الرياح على النحت وهى كمتغير رئيسى تتحدد بظروف المناخ السائدة. والمتغير الثانى فهو خشونة السطح واتساعه وامتداده فكلما زادت خشونة السطح زاد تأثيره فى الحد من سرعة الرياح عكس الحال مع الأسطح الناعمة أو الملساء وخاصة إذا ما كانت تتكون من مواد أقل فى استجابتها لعمليات النحت، وكلما زاد طول المسطح الذى تهب فوقه الرياح fetch كلما زادت قدرتها على النحت. أما المتغير الثالث فيتمثل فى النبات والذى يؤثر بدوره على طبيعة نحت الرياح للصخور ، فالنبات الطبيعى الذى يغطى ١٠٠٪ من سطح الأرض (بالغ الكثافة) سوف يعيق تمامًا حركة نقل الرواسب بفعل الرياح، بينما يعمل الغطاء المفتوح على تقليل عمليات النقل وذلك من خلال تغيير سرعة الرياح قرب سطح الأرض، كما أن النبات يقوم بتحديد ارتفاع السطح الأيرودىناميكى aerodynamic الذى يتحرك عنده تيار الهواء دون عائق. وهكذا فإن نسبة الغطاء النباتى إلى المساحة الكلية لمنطقة معينة تتحكم فى المسطح من الأرض المعرض للنحت، فكلما زادت هذه النسبة قلَّت المساحة المكشوفة والتى يمكن للرياح أن تؤثر فيها بوضوح، كما أن النبات فى حد ذاته يزيد من درجة خشونة السطح وبالتالى يقلل من فعالية الرياح فى النحت.

وبصفـة عامة فـإنه مع زيادة ارتفاع النبات وزيادة المـساحة التى يغطيـها من السطح تقل سرعـة الرياح، كما تعمل النبـاتات أيضًا على حماية السـطح وإضافة مواد عضوية تساعد على تماسك الحبيبات مع بعضها.

والواقع أن انتشار تـربـة اللويس - كما ذكرنا - على مـساحات واسعة شمال الصين يرجع فى جـزء كبير منه إلى اقـتطاع الأشجار من مسـاحات غابيـة واسعة كانت تنمـو فوق هذه التربة مما عرضـها لعمليات النحت الهـوائى بجانب النحت المائى بحيث يصبح مظهرها فى شكل أراض وعرة تعرف بالحيزون badland.

وجدير بالذكر أن المتغيـرات المرتبطة بنظام النحت الهوائى تختلف من حيث كونهـا دائمة أو متـغيرة، فخـصائص الرياح مثـلاً من سرعة واتجـاه ودوام هبوب وغيرها وتماسك حبـيبات التربة أو تفككها ووجود البقـايا العضوية فى التربة، كل هذه المتغيـرات يمكن أن تتغير من فترة زمـنية إلى أخرى، وعلى العكس من ذلك فإن الخصائص النسيجية للمواد السطحيـة تتميز بالثبات النسبى وذلك إذا لم تتعدل بفعل التجـوية والنحت أو بفعل تدخل الإنسان من خلال أنشطته المختـلفة وخاصة فيما يرتبط بالعمليات الزراعية.

ب - الأشكال الأرضية الناتجة عن النحت بفعل الرياح :

عندمـا تحـرك الرياح حمـولتـهـا من رمال وحـصى فـإنهـا تقوم بعـملهـا الجيـومورفولوجى فى نحـت السطوح الصخرية التى تمر علـيها أو تقـابلها وتؤدى بالتالى إلى صقلها أو تشكـيل الكثير من الملامح المورفولوجية المتمـيزة والتى تتمثل أهمها فيما يلى:-

١ - الأرصفة الصحراوية Desert Bavements :

تبدو الأرصفـة الصحراوية كنطاقات متسـعة ومستوية تقريبًـا يغطى سطحها بطبقـة رقيقة من الرمـال الخشنة المختلطة برمـال ناعمة (قطر الحبـة نحو ٠٦, من الملليمتر).

وتعد الأرصفة الصحراوية من الأدلة الواضـحة على دور الرياح الهام كعامل نحت فى المناطق الجافة.

وقد لوحظ من خلال إحدى التجارب المعملية التى قام بها Bagnold تركز المواد الخشنة على سطح رملى تعرض لهبوب تيار هوائى، حيث اندفعت الرمال متوسطة الحجم (٣, مللم) أمام حبات الرمال الخشنة ، بينما استقرت حبيبات الرمال الناعمة (٦, مللم) محتمية بين الحبات الرملية الخشنة (أكبر من ٥ , ملم) التى يصعب تحريكها إلا من خلال هبوب رياح قوية،ومن هنا تظهر الأسطح التى تتكون من رمال خشنة مختلطة برمال ناعمة مع ندرة أو اختفاء الرمال متوسطة الحجم، وكثيراً ما تظهر فوقها جلاميد boulders وتكوينات من الحصى والحصباء.

وتظهر الأرصفة الصحراوية فى العديد من المناطق الجافة بالعالم، وتعرف فى كل من مصر وليبيا بصحراء السرير وتعرف بالرق فى الجزائر وبسهول الجبير Gibber plains فى أستراليا.

٢ ـ ثقوب الرياح والحصى الهندسى (الوجهريحيات) Ventifacts :

كثيراً ما تظهر سطوح صخرية مكونة من مواد متلاحمة يبدو عليها آثار التحزز grooving الناتج عن الرياح والتى تقوم بما تحمل من مفتتات ببرى هذه السطوح الصخرية المتماسكة، وإن كانت تظهر سطوح ملساء يتدنى فوقها البرى بالرياح إلى أدنى درجة.

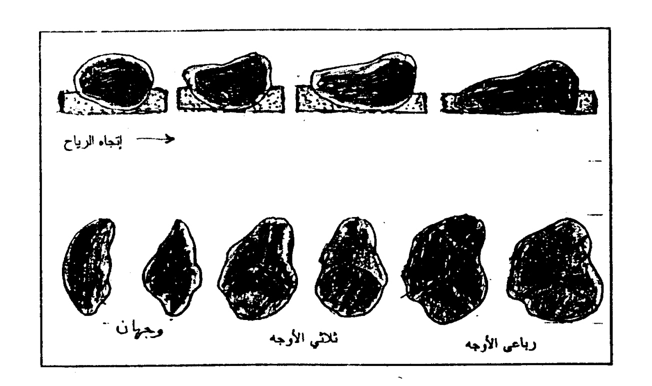
وقد يزداد البرى abrasion بفعل الرمال المثارة فى فصل الشتاء بسبب هبوب رياح شديدة البرودة والسرعة ـ،وذلك فى بعض المناطق بالعروض العليا ـ تحمل معها حبات من البرد hail تكون فى صلابة الصخور مما يجعلها تؤثر فى الصخور التى تصطدم بها. ففى الوادى الجاف بإقليم فيكتوريا الجنوبى بقارة «أنتاركتيكا» وجد أن الحجر الرملى sandstone يتميز بأسطح ملساء كثيرة التحزز بسبب تعرضها للبرى بواسطة الرياح شديدة البرودة التى تهب فترات طويلة من السنة.

وحيث تزيل الرياح الرمال الدقيقة من فوق الأسطح الصخرية فإنها تترك تكوينات حصوية خشنة بعضها هرمى الشكل three facetted يطلق عليها التعبير الألمانى driekanter حيث تتميز بأوجهها الثلاثة وحدودها الثلاثة. أما إذا كانت ذات وجهين وحد واحد فتسمى بالألمانية zweikanter، أى ثنائية الحافة.

وعمومًا ، تتميز هذه الصخور بأشكالها الغريبة وسطوحها المصقولة بفعل الرياح وانتشارها فوق مناطق صحراوية واسعة. ويرى كل من (Flint and Skinner 1977, p210) أن الرياح إذا هبت من اتجاه واحد طول العام فإنها تعمل على شطف الحصى الذى يقابلها من جانب واحد بحيث يتشكل الحصى من وجه عريض منحدر فى مواجهة الرياح الهابة. أما فى حالة تغير اتجاهات الرياح فيحدث شطف (تشظى) للجوانب الأخرى بحيث تتقابل الأوجه المشطوفة فى حد أو أكثر تبعًا لعدد الأوجه أو الجوانب التى تتعرض للرياح. راجع الشكل التالى الذى يوضح كيفية تشكيل الحصى الهندسى (الوجهريحيات) بفعل الرياح وبعض أشكاله.

وعلى غير ما يذكر كل من فلنت وسكينر Flint and Skinner يرى سوجدن Sugden 1974 عند دراسته لمثل هذه الأشكال الحصوية فى الرواسب الحديثة جنوب العراق أن أوجه هذا الحصى نتجت عن عمليات تكسر fracturing (ربما بسبب عمليات تجوية ميكانيكية). كما أظهرت دراسات جللينى Glennie, 1970 لمثل هذه التكوينات بصحراء عمان عدم وجود اتجاه محدد لأوجه الحصى الهندسى حاد الزوايا، أو بمعنى آخر عدم اتخاذها شكلاً محددًا (Derbyshire, E and etal, 1979, p165).

نخرج مما سبق بأنه حتى الآن لم يستقر رأى نهائى محددًا كيفية تكون هذه الأشكال الحصوية ، هل هى الرياح؟ أم عمليات التفكك الميكانيكى الذى له تأثير كبير فى مثل هذه المناطق الجافة ذات المناخ المتطرف. ويرى المؤلف فى ذلك ومن خلال مشاهداته العديدة فى مثل تلك المناطق أن تعدد أشكال الحصى الهندسى ووجوده فى مناطق متباينة من حيث نظم الرياح السائدة ومن حيث حدة عمليات التفكك وغيرها يدعم فكرة تعدد أسباب تكونها وتشكيلها فهى بلا شك تكونت فى البداية نتيجة للتفكك الميكانيكى لأسطح صخرية متماسكة ثم جاء دور الرياح فى إزالة الرواسب الأصغر حجمًا من رمال وغيرها لتتكشف على السطح وتتعرض بالتالى لعمليات التفكك الميكانيكى السائدة وكذلك لهبوب الرياح وما يرتبط بها من تصادم الحبات ببعضها البعض وتصادمها بالأسطح المتماسكة.



شكل رقم (٨٣)

وبالفعل هناك العديد من الدراسـات الحقلية والتجارب المعـملية التى تهدف إلى البحث عن كيـفية تشكيل مثل هذه الملامح الدقيقـة مثل تجارب Sharp 1964 وكذلك تجارب كل من كوك Cook وورن Warren عام ١٩٨٣ وكلها أكدت الحاجة إلى المزيد من الاهتمام بدراسة العمليات الأيروديناميكية aerodynamic processes المرتبطة بالرياح،وخاصة فيما يختص بالتيارات الهوائية والدوامات المضطربة وكذلك التركيـز على التركيب المعدنى للصخـر ودراسة زوايا الاصطدام بالنسبة للحبـيبات الصخرية وكثافتها النوعيـة وخشونة السطح وغير ذلك من الجوانب التى تساعد فى تفهم هذه الأشكال الحصوية.

٣ ـ الصخور الارتكازية Rock Pedestals :

عندما تتعرض الكتل الصخرية rock masses لبرى الرياح فـإنها تنحت فى أشكال متميزة يطلق على بعضها بسبب شكله المميز «الصخور الارتكازية أو الموائد الصحراوية» حيث تبدو فى جزئهـا العلوى فى شكل كتلة كبيرة الحجم ترتكز على عمود صخرى يتعرض بشكل مستمر لنحت الرياح، وتتميز هذه الظاهرة فى معظم

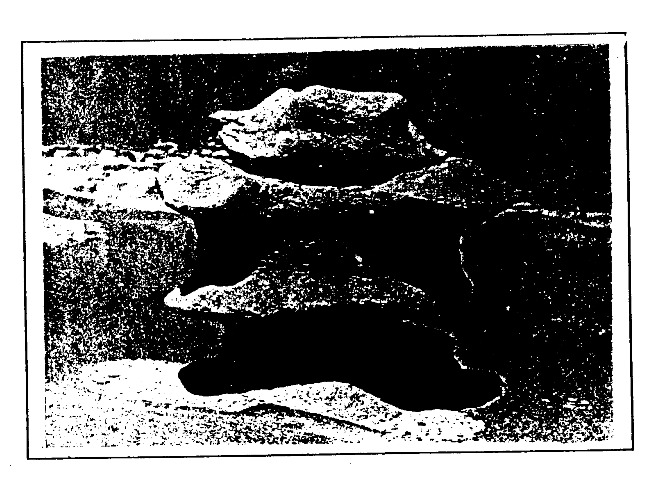
الأحوال بتعاقب صخور صلبة مع صخور لينة تتعرض فيها الأخيرة للبرى بمعدل أسرع بكثير من الأولى، كما يتضح ذلك من الشكل التالى رقم (٨٤) الذى يوضح مثالاً لمائدة صحراوية ترتكز فيها صخور صلبة فوق صخور لينة. وتوضح الصورة التالية رقم (٢١) مائدة صحراوية نموذجية فى منطقة منخفض وادى الريان بصحراء مصر الغربية قرب منخفض الفيوم.



شكل رقم (٨٤)

وقد لاحظ المؤلف من خلال دراساته الحقلية فى صحارى مصر والجزيرة العربية أن مثل هذه الظاهرة تتميز بأن أقدامها - على ارتفاع عدة سنتيمترات من الأرض - تكون أقل تعرضًا للبرى من الجزء الذى يعلوها مباشرة وقد أرجعتها إلى ضعف الرياح قرب السطح مباشرة بسبب الاحتكاك المباشر بالأرض إلى جانب وصول المفتتات - أدوات الحت - إليها ببطء عن طريق الزحف(*) فيكون تأثيرها

(*) وذلك رغم أحجامها الكبيرة كحصى أو رمال خشنة .



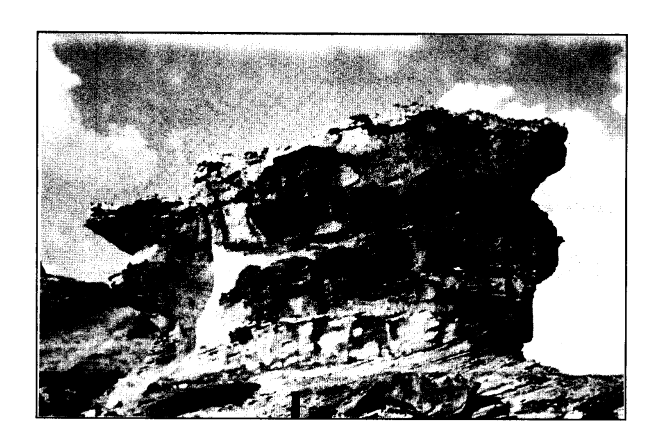
صورة رقم (٢١)

الحتى محدودا بالمقـارنة بوصولها عن طريق القفز الذى يرفعـها إلى مُنأسيب أعلى نسبيا، هذا،وقـد يكون هذا بسبب صلابة تلك الصخور (عند القـاعدة) بالمقارنة بما يعلوها من صخور وهذا أمر يمكن تأكيده من الدراسة الحقلية.

وتوضح الصـورة التـالية (٢٢) بعض الأشكـال الملفتـة التى قـامت الرياح بتشكيلها فى صخـور الحجر الجيرى بواحات الإحساء يلاحظ منـها وجود صخور ارتكازية بعضهـا على وشك الانهيار والسقـوط، وتغطيها جمـيعًا طبقة رقـيقة من التكوينات المتكلسة بسبب عمليـات التجوية الكيماوية الإذابة وما يعقـبها من تبخر المياه وترك تلك الطبقة الرقيقة كغطاء حامى لتلك الصخور.

٤ ـ ظاهرة الزيوجين Zeugens :

تنتج هذه الظاهرة عن برى الرياح للصخـور فى المناطق المدارية الجافة والتى تظهر فـيها طبقـات صخرية صلبة ترتكـز فوق صخور لينة بحـيث تبدو فى شكل

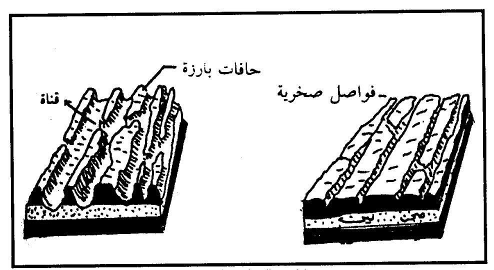


صورة رقم (٢٢)

حافـات صلبة منفصلة عن بعـضها البـعض بواسطة قنوات غائرة furrows تتمـيز بتسطح قممها.

وتنتج الزيوجين أو مـا يعرف بالشواهد الصحراوية حـيث تتوغل الرياح فى الفواصل والشقوق الصخرية وتنحت الصخور اللينة وقد يصل ارتفاع الزيوجين إلى أكثر من ٣٠ متراً.

ويوضح الشكل التـالى رقم (١٨٥) أثر التجـوية الميكانيكيـة فى فتح ثغـرات خلال الفـواصل الصخـرية Joints كبداية لـتكون الزيوجين، ويوضح الشكل رقم (٨٥ب) تضافر عملية البرى بفعل الرياح مع التجوية فى توسيع القنوات الغائرة فى الصخور اللينة وتكوين الحافـات أو الشواهد الصحراوية. راجع الصورة رقم (٢٢) التى تبين شكلاً قـريبًا من الشواهد الصـحراوية حيث ترتكز صـخور جيـرية صلبة فوق صخور أقل صلابة ويمكن ملاحظة ذلك من اختلاف اللون إلى جانب وضوح أسطح الطبقة التى تمثل مناطق ضعف تتخيرها الرياح والتى تتـميز عملياتها التحاتية



شكل رقم (٨٥)

(البرى) بأنها عمليات تفاوتية differential-Processes تختلف حسب اختلاف درجة صلابة الصخر[١].

٥ ـ الياردنج Yarding :

تظهر فى المناطق الجافة حيث توجد صخور صلبة ممتدة فى موازاة صخور لينة فى وضع رأسى، وعندما تتعرض لرياح سائدة من اتجاه ثابت نجد أن الصخور الصلبة تبدو شامخة كأشرطة صخرية ـ إذا صح التعبير ـ ترتفع إلى نحو ٢٠ مترًا يطلق عليها الياردنج وهذه الظاهرة واسعة الانتشار فى صحارى وسط آسيا وفى صحراء أتكاما بأمريكا الجنوبية.

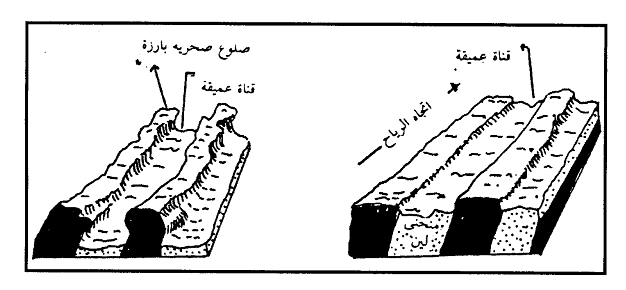
ويوضح الشكل التالى رقم (٨٦أ) أثر الرياح فى تكوين ظاهرة الياردنج كما يبين الشكل رقم (٨٦ب) المراحل النهائية لتكوين مثل هذه الظاهرة التى عادة ما تتميز بها الصحارى المعروفة بالحمادة.

٦ ـ الجزر الجبلية Inselbergs :

عندما تتصل المنخفضات الصحراوية ببعضها البعض بعد تأثرها الشديد بعمليات النحت المختلفة التى أدت إلى تراجع الحافات المحيطة بها

---

(١) فالصخر الجيرى المتماسك يصقل عند تعرضه للرياح وإذا ما كان يحمل داخله بعض الدرنات فإنها تبرز إلى أن تنتهى بالسقوط مع شدة البرى الريحى والجرانيت عندما يتعرض لبرى الرياح فإن سطحه عادة ما يصقل أو يلمع، وبالنسبة للنايس والشست المتورق فإن سطوحه تتعرض للتحززات عند برى الرياح له.



شكل رقم (٨٦)

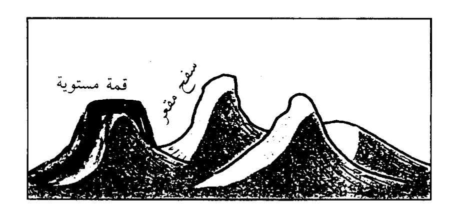
surronded escarpments، تظهر بقايا من كتل صخرية تلية تتميز بقممها المستديرة rounded أو المستوية وتتميز جوانبها عادة بشدة انحدارها وهذه التلال المتناثرة يطلق عليها تعبير inselbergs وهو مصطلح ألمانى يقصد به الجزر الجبلية البارزة وسط نطاق صحراوى منخفض ومتسع، وهذه الظاهرة قد تكون نتاج نحت هوائى أو بفعل تضافر النحت الهوائى (برى الرياح مع النحت المائى). ويوضح الشكل (٨٧) تلال وسط أرض منخفضة أحدها قمته مستوية flat topped inselberg والأخرى تتميز بقممها المستديرة rounded topped inselberg لاحظ كذلك القطاع المقعر من سفوحها.

وتوضح الصورة التالية رقم (٢٣) أربع جزر جبلية بارزة وسط سهل صحراوى متسع تتماثل فى ارتفاعها تقريبًا، ويمكننا أن نلاحظ منها ما يلى:

- تتميز أعاليها - باستثناء الأوسط - بشكلها المحدب القريب من الشكل المخروطى.

- اختلاف الانحدارات على طول سفوحها حيث يتغير بشكل فجائى عند القطاع الأدنى من السفح، من انحدار معتدل إلى انحدار رأسى (جرفى).

- يلاحظ أثر النحت بفعل الرياح مع وجود الشقوق وظهور أسطح الطبقية bedding planes.



شكل رقم (٨٧)



صورة رقم (٢٣)

وتنتشـر الجزر الجبلية فى صحـراء كلهارى وأجزاء من صحـراء الجزائر وفى شمال غرب نيجيريا وكذلك فى مناطق مختلفة من صحراء مصر الغربية. ويمكننا اعتبار التلال المنعزلة isolated hills التى تبرز وسط قاع منخفض الواحات البحرية جزراً جبلية وهى كمـا أكدت الدراسات الجيولوجية والجيومـورفولوجية للمنخفض عبارة عن بقـايا متخلفة عن قبـو البحرية السابق لنشـأة المنخفض ومن هذه التلال منديشة والهفهوف وغيرها (للاستزادة راجع للمؤلف، ١٩٩٢).

ـ الكدوات hummocks :

عبـارة عن رواسب صلصاليـة ناعمة ترسـبت فى البداية فى مناطق واسـعة بقيعان الأودية الصحراوية الكبيرة (قطاعاتها الدنيا غالبًا) أو فى أراض متسعة مثلما الحال فى قـيعان بعض المنخـفضات الصـحراوية، تتمـيز هذه التكوينات بسـمكها الكبير، وقـد تم ترسيبها فى فـترات رطوبة سابقة ثم تعرضت بعـد ذلك لعمليات النحت الريحى خـلال فترات الجـفاف التـالية والتى سادت تلك المـناطق ومازالت مستمرة حتى الوقت الحاضر مميزة لمناخ تلك المناطق الصحراوية المدارية من العالم.

وقد أدت الرياح إلى تقطعها على طول خطوط الضعف والتشقق بها بحيث تبـدو الآن فى شكل ظهور طوليـة (كدوات) تتـماسك بواسطـة أشجـار قصـيرة (شجيرات) أو مـجموعات نباتية كانت فى مرحلـة الترسيب الأولى بمثابة النويات cores التى ترسبت حولها وفوقها الرواسب الفيـضية الصلصالية القديمة التى أتت بها تلك الأودية، وقد سـاعد على اتخاذها هذا المظهر المورفولوجى المـميز هبوب رياح سائدة من اتجاه واحـد داخل مجرى الوادى المتسع وفى مـوازاة امتداده شكل رقم (٨٨).

وبشكل عام تبـدو الكدوات فى الطبيعة فى صـورة تلال مستطيلة منخـفضة ذات قمـم شبـه مستويـة وجوانـب شـديدة الانحدار، وتمتد هذه التلال المنخـفضة التى لا تزيد فى ارتفاعها على بضـعة أمتار موازية لبعضـها البعض وموازية للرياح التى شكلتها، ومن منـاطق انتشار الكدوات فى مصر شـمال سهل باريس وجنوب المحاريق بمـنخفض الواحـات الخارجة ومناطق أخـرى من الواحات المصـرية وفى بعض بطون الأودية بصحراء مصر الشرقية.

كدوات سهل باريس:

تظهر الكدوات داخل منخفض الواحات الخارجة فى عدة مناطق غير منطقة سهل باريس تتمثل فى منطقة أم الدبادب والمحاريق بالشمال والشمال الغربى من المنخفض وجنوب المحاريق على طول امتداد محور منخفض الواحات الخارجة.



شكل رقم (٨٨)

بالنسبة لسهل باريس تظهر فيه الكدوات فى مواضع كثيرة على طول امتداد الطريق الأسفلتى حيث تظهر تربة صلصالية محززة تحززات واضحة بحيث تظهرالكدوات فى صفوف ممتدة لمسافات طويلة تظهر فى جوانبها وأعاليها فى أحيان كثيرة فروع أو جذوع الشجيرات والنباتات التى عملت على تماسكها.

وقد درسها كل من Ball,J وكيتون تومسون وغيرهما، ويرى الأول أنها عبارة عن رواسب بحيرية ترسبت فى قاع بحيرة قديمة كانت تشغل قاع المنخفض خلال الفترة المطير pluvial-period، وبعد جفاف البحيرة وتلاشيها تركت هذه الرواسب البحيرية lacustrine deposits على السطح منكشفة للرياح وعمليات التجوية مما أدى إلى تشكيلها بالصورة التى نراها عليها الآن. أما بالنسبة لرأى كيتون تومسون فى نشأة كدوات سهل باريس فإنه يختلف عن رأى Ball تمامًا حيث يرى أن هذه الرواسب كانت فى الأصل عبارة عن كثبان رملية قديمة تثبتت بفعل النباتات ثم تقطعت وتشققت على طول خطوط الضعف بها، أى أنه بهذا الرأى يرى أن الكدوات تترسب هوائى فى مرحلتها الأولى ثم نتاج نحت هوائى فى مظهرها الأخير (Thompson, C., 1950, p7).

ويرى المؤلف من خلال زياراته المتكررة للواحات الخارجة وتسجيله لبعض القياسات والخصائص التى تميز هذه الكدوات أنه ليس هناك أى مبرر لإرجاعها إلى الترسيب الهوائى ككثبان وفقًا لما زعمه تومسون، فمظهرها كتلال متماسكة ذات

قمم مستوية ممتدة فى موازاة بعضها البعض بحيث تبدو وكأنها غطاء كان متصلاً فى فترة سابقة أتت عليه الرياح وقطعته بالكيفية سابقة الذكر. ومن ثم نرى أن رأى دول قريب جدًا من الحقيقة حيث تتشابه فى مظهرها وتكويناتها الصلصالية الناعمة واستمراريتها لمسافات بعيدة نسبيًا مع غيرها من الكدوات التى تظهر كرواسب فيضية متقطعة فى الأجزاء الدنيا من الأودية الجافة،وخاصة أن هناك العديد من الأشكال الكثيبية التى تجاورها ولم يظهر ما يدل على تعرضها للتماسك والتحول إلى كدوات خاصة مع تماثل ارتفاعاتها تقريبًا.

وجدير بالذكر أن سبخات البلايا التى تطورت عن بحيرات البلايا داخل الأحواض الجبلية - فى أخفض بقاع الحوض - يمكن أن تتحول مع تعرضها للجفاف والتشقق إلى مظهر كدوات تشبه تقريبًا فى مظهرها الكدوات بمفهومها السابق وخاصة مع هبوب رياح سائدة من اتجاه واحد ووجود نمو نباتى ملحى فوق سطح السبخة يعمل على تماسك الكتل الطينية الملحية حوله بحيث تتماسك دون بقية الرواسب لتظهر ككدوات مرتفعة نسبيًا.

المنخفضات الصحراوية Desert Depressions :

قد تلعب الرياح دورها فى حفر المنخفضات الصحراوية دون أية مساعدة من عمليات التعرية الأخرى أو دون تدخل الحركات التكتونية وقد تلعب دورًا مساعدًا لبعض العمليات الأخرى فى إبراز مثل هذه المظاهر التى كثيرًا ما تظهر فى مناطق السطوح الصحراوية المتماسكة أو فى بعض المناطق ذات الرواسب السائبة.

فى الحالة الأولى تمثل الرياح العامل الرئيسى فى تشكيل منخفضات مستديرة أو مستطيلة غالبًا ما تتكون فوق رواسب غير متماسكة unconsolidated deposits تعرف عادة بحفر التذرية deflation hollows مثل تلك الحفر التى تنتشر فى السهول الوسطى بالولايات المتحدة الأمريكية وبعض مناطق غرب أوروبا والتى تم نحتها وتذرية مكوناتها الصخرية خلال فترات سيادة الجفاف أواخر البلايستوسين وهى تشبه تلك الحفر التى توجد الآن فى المناطق السهلية ذات المناخ الجاف والخالية من النباتات مثلما الحال فى صحارى منغوليا والمعروفة هناك باسم حفر البانج كيانج bang kiang وهى عبارة عن أحواض منخفضة وسط تكوينات رملية تزيد أقطارها

على سبعة كيلومترات وتتراوح أعماقها ما بين ٦٠ و ١٠٠ متر، وقد درسها كل من موريس وبركى وأرجعاها إلى فعل الرياح دون مشاركة أى عامل جيومورفولوجى آخر (صفى الدين، ص٢٨٢).

وأغلب حفر التذرية حفر صغيرة تتراوح أقطارها ما بين عدة أمتار ونحو الكيلومتر ولا تزيد أعماقها على بضعة أمتار، وقد تؤدى الأمطار إلى تكون بركة أو بحيرة داخل الحفرة، وحيثما يتبخر الماء يجف القاع الطينى ويتشقق وتتكون كريات pellets طينية جافة يصعب على الرياح تحريكها بسبب كبر أحجامها نسبيًا والتحامها أحيانًا مع صخور القاع التى تعد فى ذاتها جزءًا منه (Strahler, A and Strahler, A.H, p327).

أما بالنسبة للمنخفضات الصحراوية الضخمة مثل منخفضات الصحراء الغربية فى مصر فإنه من الصعوبة أن نتصور أنها من نتاج نحت الرياح، وخاصة أنها قد تكونت فى صخور صلبة متماسكة بل يصعب علينا أيضًا تصور نشأتها من خلال عمل جيومورفولوجى بعينه أو أن نشأتها جميعًا واحدة. ومن ثم فإن دور الرياح فى نشأتها دور مساعد فى أغلب الأحوال قد يزداد فعالية فى فترة الجفاف ويتوقف فى فترة الرطوبة، كما أنه - أى دور الرياح - لا يتماثل فى تكوين المنخفضات بدرجة واحدة فهى عادة ما تكون أكثر تأثيرًا عندما تكون سريعة ومنتظمة وتكون الصخور أقل صلابة أو متعاقبة بين صلبة ولينة.

وجدير بالذكر أنه سواء أكانت الرياح العامل الرئيسى فى نحت بعض المنخفضات أم العامل المساعد فى حفر منخفضات أخرى فإن هناك حدا أدنى للتخفيض تتوقف عنده عمليات النحت المختلفة يتمثل فى مستوى الماء تحت الأرض under ground water table ؛ ولذلك كثيرًا ما نجد أن المساحة المحفورة تتناقص مع العمق، وهذا الأمر يظهر بوضوح فى منخفض القطارة (Ball, J, 1933, pp. 289 - 299).

٦ - تأثيرات نحتية أخرى للرياح :

عندما يكون السطح الصحراوى صخريا صلبًا ويتعرض لهبوب رياح محملة بأدوات الهدم أو البرى abrasive tools من حصى ورمال خشنة فإنه - أى السطح -

إما أن يصقل أو يتحزز وذلك تبعًا لتكوينه الجيولوجى، فالسطح المكون من الحجر الجيرى عـادة ما يصقل والمكون من الجرانيت يصـقل أو يتحزز[١] أما الشست فإنه يتحزز تحززات غائرة أو تزداد درجة تورقه (تقشرة) فى حالة ما إذا كان هذا التقشر (خطوطه) متمشية مع اتجاه الرياح السائدة (Holmes, A., 1978, p477).

كذلك تعمل الرياح على استدارة الحبيـبات التى تنحتها وتقوم بنقلها، وهى فى ذلك تكون أكثر فعالية من العمليات النهرية ويرجع هذا إلى عدة عوامل تتمثل فى السرعة الشـديـدة للرياح بالمقارنة بسرعة التـيار النهرى وتتمثل كذلك فى طول المسافات التى تقطعهـا الحبيبات المنقولة بفعل الرياح التى تفوق مـثيلاتها فى الأنهار وهذا بدوره يعطى فرصـة أكبر للحبـيبات المنقولة بفـعل الرياح للاحتكاك ببعـضها البعض وللاصـطدام بسطح الأرض بشكل أكثـر قوة وفعـالية مما يحـدث فى حالة النقل بالأنهار، وخاصة إذا ما أخذنا فى الاعتبار كون مياه الأنهار تمثل غطاءً حاميًا للحبات الصخرية التى تتحرك خلالها أو تنقل بواسطتها على طول قاع المجرى.

ثانيًا ــ عمليات النقل بفعل الرياح :

تتـحرك الـذرات الصـخرية الدقيـقة أو تنقل بفعل الريـاح عن طريق التعلق suspension وذلك لمسافـات بعيـدة عن مصادرها، بـينما تتحـرك الحبـات الخشنة بالزحف creeping أو التدحرج rolling أو القفز على سطح الأرض saltation[٢].

أ ـ نقل الجزيئات الدقيقة fine particles :

عادة ما نجد فى عمليات نقل الرياح للمفـتتات الدقيقة أن الرياح السريعة من السهل عـليها أن ترفع جـزيئات الغـرين والصلصال إلى أعلى، وحـيث ترتفع فى الهواء فـإنها تسـقط ببطء شديـد باتجاه سطح الأرض، وطالما يسـود الجفـاف فإن بإمكانهـا التحرك لمسـافات بعـيدة، ويعـمل الشكل المفلطح platy shape لبعض الجزيئـات الناعمة على مـساعدتها فى الحـركة والتعلق، ورغم أن تلك الجـزيئات

---

(١) يظهـر أثر التحزز النـاتج عن البرى بفـعل الرياح بشكل واضح فى السهـول العظمى الأمريكيـة بولايتى داكوتا ومونتانا حيث تتجه أنهار صغيرة موازية لبعضها البعض فوق مساحة واسعة وسط هذه التحززات.

(٢) اشتقت من كلمة saltare اللاتينية وتعنى يقفز leap ويعد Mc Gee 1908 أول من وصف هذه العملية بالنسبة لنقل الحبيبات على طول قاع مجرى النهر، ويعد Joly 1904 أول من وصفه بالنسبة للنقل بفعل الرياح.

تصطدم ببعضها البعض إلا أنها لا تستطيع القيام بعملية الطحن وذلك بسبب صغرها على عكس الحال مع الرمال التى تزداد درجة استدارة حباتها مع احتكاكها ببعضها البعض أثناء تحركها بفعل الرياح.

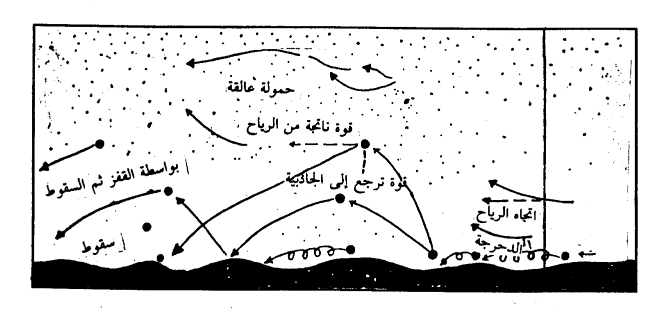
والواقع أن السرعة العادية للرياح تمكنها من نقل هذه المواد الدقيقة فى حالة تعلق ، ومن المعروف أن الحمولة العالقة تمثل فى أغلب الأحوال جزءاً من جملة الحمولة الكلية للرياح، وإن كانت هناك بعض الاستثناءات مثلما الحال عندما تترسب كميات ضخمة من المواد الناعمة عند نهايات الأنهار الجليدية glaciers فإنها تصبح سريعة التأثر بالرياح التى تحملها فى صورة عالقة suspendd load يساعد على ذلك تناثر النباتات وسيادة الجفاف، وقد تم نقل كميات ضخمة من هذه الأتربة العالقة بالهواء أثناء فترات الجفاف التى شهدتها تلك المناطق أواخر البلايستوسين وتراكمت فيما يعرف الآن برواسب اللويس loess أو الطيس فوق مساحات واسعة شرق أوروبا وشمال الصين (Statham,I., 1979, p.145) وقد أظهرت الدراسات التجريبية بأن الذرات الأقل حجمًا من ١, مللم يمكنها أن تتحرك بالتعلق وأن الذرات التى تتراوح أحجامها ما بين أو ٥, من المليمتر تتحرك بالقفز، أما الأكبر حجمًا من ٥, مللم فإنها تتحرك بالجر (الزحف) Cooke, U and Doornkamp, p55) كذلك يرى Bagnold بأن السرعة المطلوبة لتحريك المواد الدقيقة (٠٢٥, مللم) تبلغ ٢٠ سنتيمتر فى الثانية.

ب ـ نقل الرياح للرمال:

تتحرك الرمال بشكل عام قريبة من سطح الأرض، وعندما يكون حجمها كبيراً فإنها تنقل ببطء عن طريق الزحف وذلك لصعوبة نقلها بطريقة القفز (Stat-ham, I., p146). ويتم القفز غالبًا بتحرك الجزء إلى أعلى فى وضع رأسى بمساعدة الرياح التى تجرها فى حركة دائرية لتمتد بين لحظة وأخرى فى موازاة التيار الهوائى وذلك عندما تتعادل السرعة (سرعة الرياح) مع قوة الجاذبية. والقليل من الحبيبات القافزة يمكنه تجاوز الحد الأقصى لارتفاع سحابة رملية وهو عادة لا يزيد على المتر الواحد وهذه الحبات عادة ما تتميز بكبر أحجامها.

وقد أكدت القيـاسات الحقلية أن معدل حجم الحـبات يتزايد مع الارتفاع فى الجزء الأسفل من السـحابة الرملية وذلك فى حالة هبـوب رياح قوية، وربما يرجع ذلك وفقًا لما ذكره باجنولد Bagnlod إلى أثر قوة اصطدام الحبات كبيرة الحجم من الرمال بسطح الأرض فى ارتفاعـها إلى مناسيب أعلى فى الهواء مقارنة بالحـبيبات الأصغر حجمًا (Warren, A., 1979, p332).

وأمر طبيعى أن تكون عملية قفز حـبيبات رملية فوق سطح رملى سائب أقل سرعة منها فوق سطح صخرى صلب متماسك شكل رقم (٨٩) حيث إن اصطدام الحبـيبات الرمليـة بالأخير يعطى قـوة دفع أكبر بالمقارنة بـحالة الاصطدام بالسطح الأول.



شكل رقم (٨٩)

على سبيل المثال إذا ما مر تيار هوائى فـوق سطح حصوى يواجه بقعة رملية فإن حركة التـيار تهبط (تقل) فى منصرف الرياح ، وقد يلقى بجـزء من حمولته الرملية التى يجرها والتى تكون فرصة قفزها ـ حبات الرمال التى يسوقها ـ محدودة فوق البقعة الرملية التى يمر فوقها بعد اجتيازه السطح الحصوى، وإذا كانت الرياح

الخفيـفة يمكنها تحريك الرمـال من فوق سطح رملى فإنها لا تستطـيع تحريكها من فوق سطح حصوى ويرجع ذلك كما ذكـرنا فى مواضع سابقة من هذا الفصل إلى الحماية التى يوفرها الحصى لتلك الرمال الناعمة.

وقد أوضحت التـجارب المعملية أن معدل نقل الرمـال يتناسب تناسبًا طرديًا مع معدل سـرعة الرياح، بالإضافة إلى تأثره بعـوامل أخرى مثل حجم الحبـيبات وكثافـتها النوعيـة وكثافة الهـواء ـ والتى تتباين مع الارتفاع والاخـتلاف فى درجة الحرارة ـ وخصائص السطح.

وتوضح المعادلة التـالية التى وضعـها Hsu, 1973 بشكل بسيط العـلاقة بين الكميات المنقولة من الرمال والعوامل التى تؤثر فيها :

$$\text{ك} = (\text{٤٧} - \text{٩٧,٤ق}) \left(\frac{\text{٤,} (\text{٢٧٥} - \text{س})}{\text{أ} (\text{حـ ق})^{\frac{١}{٢}}} \right)^{\text{٣}}$$

حيث :

ك = وزن كمية الرمال المتحركة سنويًا بـ (الطن) لكل مترمربع.

أ = ارتفاع المنطقة التى تم فيها قياس سرعة الرياح بالمتر/ ثانية.

ق = متوسط قطر الحبة بالمليمترات.

س = تكرار سرعة الرياح من اتجاه معين خلال السنة.

جـ = ثابت الجاذبية gravitational constant (٣٣ قدم/ ثانية)(*).

وعمـومًا، فإن كـمية الرمـال المتحركـة تكون ذات علاقة طردية مع سـرعة الرياح مع ملاحظة أن الرياح المعـتدلة التى تسود فتـرة طويلة من السنة يمكنها أن تساهم فى نقل كميات كبيرة من الرمل (Warren, A., p332).

وقد أظهـرت الدراسات العديدة التـى قام بها كل من شـيبل Chepil ورينز وبالمر ١٩٧٤ فى القارة الـقطبية الجنوبيـة (أنتاركتـيكا) أثر سرعـة الرياح والبرودة

(*) مصطلح فى الميكانيكا يقصـد به المسافة التى يتحرك خلالها الجسم عند سقوطه على الأرض إلى الزمن الذى تستغرقه.

الشديدة على عملية قفز الحبيبات، ففي الأودية الشرقية لهذه القارة تهب رياح شديدة السرعة يؤدى هبوبها إلى زيادة حركة اصطدام الحبيبات بالأسطح الصخرية.

أظهرت الدراسة السابقة أن الحبيبات التى يزيد قطرها على ملليمترين يمكنها أن ترتفع إلى نحو المترين عندما تصل سرعة الرياح إلى ٣٦,٠٥ متر فى الثانية مع درجة حرارة ٧٠ درجة مئوية تحت الصفر (السرعة المطلوبة للتحريك عند درجة حرارة الصفر المئوى تبلغ ٤٥,٤٢ متر فى الثانية). وعلى ذلك فإن سرعة الرياح الحرجة ، أى المطلوبة لبدء تحريك الرمال الخشنة فى شتاء أنتاركتيكا القارس تبلغ نحو ٢٠ متر فى الثانية وهى بذلك تكون أقل من مثيلاتها فى الصحارى المدارية ودون المدارية.

وقد وضع Chepil قانونًا لتحديد سرعة الرياح المطلوبة لبدء تحرك الحبيبات الأكبر من ١, ملم على النحو التالى:

$$\text{سرعة الجر المطلوبة} = ١\sqrt{\left(\frac{\text{الكثافة النوعية للهواء - الكثافة النوعية للحبة}}{\text{الكثافة النوعية للحبة}}\right)\text{جـ ق}}$$

حيث جـ = ثابت الجاذبية .

ق = قطر الحبة بالسنتيمتر .

أما كثافة الهواء فهى فى الظروف العادية = (١٢٢ - ١٠ - ٣ جرام/ سم) بالنسبة للحبيبات الأصغر من ١ ملم نجد أن السرعات الحرجة المطلوبة لتحريكها لا تلتزم بنتائج هذا القانون (Cooke,u and Doornkamp, p55) ؛ وذلك لأن السرعات المطلوبة تزداد مع تناقص حجم الحبة grain size ربما يكون ذلك بسبب التلاحم بين الحبيبات الدقيقة أو ربما يكون بسبب حقيقة أن الجزيئات قد تكون أصغر من أن تدخل فى تيار الهواء المضطرب turbulent flow of air.

ويحدث أثناء نقل الرمال بواسطة الرياح نوع من التصنيف (الفرز) sorting للحجم والشكل، فالحبات غير المنتظمة فى شكلها ترفع بمعدل أسرع من تلك الحبات المستديرة، كما يبدو أن الحصى يتحرك بمعدل بطىء بسبب مقاومته لحركة الرياح، كذلك يؤثر شكل الحبة فى وضع مسارها المنحنى فى الهواء وفى قوة اصطدامها بالسطح الصخرى.

وحيثما تتحرك الرمال على الجوانب شديدة الانحدار للكثيب الرملى بالزحف أو القفز أو الانزلاق فإن بعضها يترسب ترسبًا مؤقتًا خلال نقله على السطح فى صورة تموجات ripples أو كثبان صغيرة فى حركة يطلق عليها مصطلح bulk transport وفيها تشبه حركة حبات الرمال حركة السيارات فى زحام مرورى فالعربة تمثل الحبة وزحام المرور يمثل جسم الكثيب، فتتحرك العربة بسرعة معتدلة مع تحرك الزحام المرورى (الكثيب) إلى الإمام بالدفع الذاتى مع ثبات مكوناته داخله وهى العربات فى زحام المرور وحبات الرمال فى الكثيب.

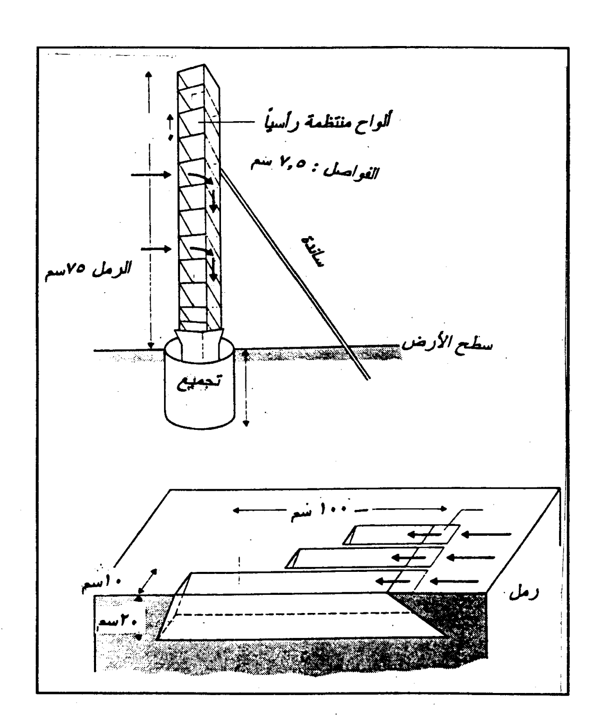
وكنوع من التعميم فى القول فإن الرواسب المنقولة بالقفز تمثل ٧٥٪ من جملة الرواسب المنقولة بجميع الطرق الأخرى كالزحف والتعلق والانزلاق وذلك عكس الوضع مع النقل بواسطة مياه الأنهار والتى تنقل نسبة محدودة من حمولتها عن طريق القفز، ويرجع ذلك إلى الكثافة المرتفعة للمياه ودرجة لزوجتها العالية high viscosity حيث تجد الحبات القافزة خلالها مقاومة شديدة مما ينعكس بدوره على مداها فى القفز الذى يتميز بقصره على قاع النهر (Statham, I., p176).

قياس حركة الرمال فى الحقل والمعمل :

تتمثل المشكلة الرئيسية المرتبطة بقياس حركة الرمال فى الحقل فى مدى تطور مصايد الرمال sand traps، حيث إنه يجب أن تكون الأجهزة الخاصة بذلك قادرة على حجز الرمال، وإن أمكن أن تفرق بين الرمال المتحركة بالزحف وتلك المتحركة عن طريق القفز، وكما هو معروف فإن أكبر تحرك يتم عن طريق القفز متقدمًا للأمام فى اتجاه منصرف الرياح فى سلسلة من الكومات، ولذلك يجب أن تكون مصيدة الرمال مرتفعة بالقدر الكافى لإمساك حبات الرمال القافزة.

وقد اختبر كل من Horikawa and Shen, 1960 نوعين من المصائد الأفقية وخمسة أنواع من المصائد الرأسية بهدف تقدير مدى كفاءتها شكل رقم (٩٠).

وتكمن الصعوبة هنا فى الاختلاف بين كل من الزحف السطحى والقفز، وقد تم تصميم مصيدة أفقية مقسمة إلى عدة أقسام متعامدة على اتجاه الرياح بحيث يمكنها حجز الرمال الزاحفة وترك الحبات الرملية القافزة لمصيدة أخرى توجد أمامها، وقد قدرت الكميات المنقولة عن طريق الزحف باستخدام هذه



شكل رقم (٩٠)

المصائد نحـو ٢٥٪ من جموع الرمال المتـحركة وأن هذه النسبـة لا تتغير مع تـغير سرعة الرياح (King, C.A.,1978, p131).

ومن مميزات المصائد الأفقية أنها لا تعمل على اضطراب الرياح وإن كان من الصعب اختيار الطول المناسب لها، كما أنها لا تستطيع إعطاء معلومات ترتبط بأثر الارتفاع على سرعة الحركة. أما عن المصائد الرأسية vertical sand traps فمن أهم

مثـالبها أنها تؤدى إلـى اضطراب هبوب الرياح مما يتطلب أخذ الحـيطة والحذر فى تصميمها وذلك بهدف الحد من ذلك والوصول بتأثيرها إلى حده الأدنى. من هذه التصـميمات جـعل عرض المصيدة فى الجـانب الذى تهب منه الرياح صغيـراً جداً مثلما فعل Bagnold عند تصميمه لمصيدة الرمال التى استخدمها فى تجاربه.

وهناك مشكلة أخرى ترتبط بالمصائد الرأسيـة تتمثل فى برى الأجزاء السفلى منها[١]. ومع كل ما سبق فإن اسـتخدام مصائد الرمال فى الدراسـة الحقلية مازال محدوداً بدرجة كبـيرة، ويعد «باجنولد» من أكثر من قام باستـخدامها فى دراساته وأبحـاثه العديدة عن الكثـبان الرمليـة وخاصـة فيـما يتـعلق بسرعـة الرياح على ارتفاعات مختلفة وعلاقتها بحركة الرمـال، فقد قام باستخدام مصيدتين فى قياس حركة الرمال إحداهما أفقية صغيرة الحجم تختص بحركة الرمال الزاحفة والأخرى رأسية ضـيقة تختص بحـجز الرمال القافزة (عـرضها نصف بوصة وارتفـاعها ٣٠ بوصة). وقد دفـنت المصيدة الأفقـية فى الرمال تاركة فـتحة صغيـرة لمرور الرمال الزاحفة راجع الشكل السابق (٩٠) كما أن المصيدة الرأسية مثقوبة من أسفل وذلك للحد من اضطراب الرياح عند مرورها بها.

وجدير بالذكـر أن الدراسات الحقلية المجـدية هى تلك التى تتم أثناء هبوب الرياح القوية أو العواصف storms ولذلك فمن المهم جداً فى هذا الشـأن التركيز على تثبيت الأجهزة الخاصة بالقياس تثبيتًا جيداً حتى لا تتأثر بالرياح أو تدمر بفعل العـواصف التى يصـعب.أصلاً التنـبؤ بحـدوثهـا فى تلك المناخـات الصحـراوية المتطرفة.

ولقد خرج باجنولد Bagnold بالعديد مـن النتائج التى لاحظهـا فى الحقل والتى ترتبط بكيفيـة تحرك الرواسب، فقد وجد على سبيـل المثال أن سرعة الرياح تزداد زيادة لوغارتمية مع الارتفاع فوق السطح عندما تتحرك.

---

(١) مازالت المصايد الخاصة بالرمال فى حاجة للتطور، فعلى سبيل المثال يمكن للمصايد الرأسية أن تقسم إلى أقسام ثانوية لإمساك الرمال المتحركة فى ارتفاعات مختلفة حتى تعطى بذلك معلومات وبيانات هامة عن العلاقة بين الارتفاع وحجم الحبات القافزة.

وجاء بعده عدد من الجيومورفولوجيين المهتمين بهذا مثل بيللى Belly, 1964 الذى أجرى العديد من التجارب الخاصة بالعلاقة بين الرياح والرمال المتحركة ، ومدى تأثير الرطوبة على سرعة الرياح المطلوبة لتحريك الجزيئات، وهو صاحب النموذج التجريبى المكون من نفق الرياح wind tunnel الذى يبلغ طوله ١٠٠ قدم وعرضه أربعة أقدام وارتفاعه ٢,٥ قدم، تمر خلاله رياح تتراوح سرعتها ما بين ٢٤ و ٤٠ قدمًا فى الثانية ، وهى رياح مولدة اصطناعيًا بواسطة مروحة وضعت عند نهاية النفق، وقد استخدم لقياس سرعة الرياح جهاز عبارة عن أنبوبة منثنية بزاوية قائمة ومدرجة تسمى pitote tube، كما استخدم مصيدة رمال رأسية لقياس حركة الرمال واستخدم أخرى أفقية مقسمة إلى ١٨ قسمًا، وقد استخدم هذا النموذج فى إجراء تجارب لتحديد أثر جوانب النفق على سرعة الرياح وقام أيضًا بقياسات للقطاعات الرأسية للرياح vertical wind profiles وقياسات لمعدلات نقل الرمال تبعًا للسرعات المختلفة، كذلك سجل من خلال تجاربه فى هذا النموذج ملاحظات تتعلق بالتموجات الرملية (النيم) حيث وجد أنها تبدأ فى الظهور مع أقل سرعة للهواء فى حين أنها تختفى مع زيادة سرعة الرياح عن ٣٦ قدم فى الثانية، وإن كان لم يلحظ وجود علاقة بين طول التموج (النيم) وقوة الرياح والتى أوجدها باجنولد وقام بتحديدها كما سيتضح ذلك فيما بعد.

وقد قام بيللى كذلك بقياس متوسط المسافة التى تقطعها الحبيبات الرملية ووجد أنه يتراوح ما بين ١,٣ و ١,٦ قدم مع زيادة سرعة الرياح من ٢٨ إلى ٣٥ قدمًا فى الثانية (King, C.A., 1978, p,192). ورغم أن تجارب Bagnold قد أظهرت العلاقة بين طول المسافة التى تقطعها الحبيبات الرملية وطول التموج فإن هذه العلاقة كما ذكرنا لم تظهر فى قياسات ودراسات بيللى ، وإن وجد الأخير أن حجم حبة الرمل يؤثر فى طول المسافة التى تقطعها بطريقة القفز حيث إنه كلما قل الحجم زاد طول المسافة fetch[1].

وقد اختبر بيللى Belly قدرة المصيدة الرأسية ومقارنتها بالمصيدة الأفقية وأظهرت النتائج أن كفاءتها - الرأسية - تزداد حينما تكون سرعة الرياح ٣١,٥ قدم فى الثانية والعكس مع انخفاض سرعة الرياح.

(١) كلما قل حجم الحبة عن ٥, مللم تظهر زيادة ملحوظة فى طول المسافة التى تقطعها فى تحركها.

ومن النتائج الهامة أيضًا لتجارب «نموذج بيللى» ما يرتبط بتأثير الرطوبة على سرعة الرياح، فقد اتضح أنه إذا ما احـتوت الرمال الناعمة على ما بين ٢ ,٣٪ من الرطوبة فتكون فى هذه الحالة فى حاجة إلى رياح قوية لكى تحركها، ومن المعروف أن احتواء الرواسب على المياه يؤدى إلى زيادة تماسكها وزيادة قـدرتها على مقاومة الرياح لها.

ثالثا - الإرساب الهوائى [العملية والأشكال المرتبطة بها] :

الواقع أن حـركة الرمال وترسـيبها فـوق الأسطـح الصـخرية بالمناطق الجافة لا تتم بشكل عـشوائى، وإنما توجد فى أنماط مـحددة ترتبط بنظم الـرياح السائدة أكثر من ارتباطها بالطـوبوغرافيا، ويرى ويلسون Wilson فى ذلك أنه مـن الممكن توقع كيفيـة حدوث عمليات ترسيب ومواقع حـدوثها من خلال وضع نظام خاص بـحركـة الـريـاح وعـمل عـدد كبير من محـصـلات انسياق الرمال فى منـطقة ما (Derbyshire, and E others, 175).

وكان ولسـون قد درس فى عام ١٩٧١ الخرائط الخـاصة بحركـة الرمال فى الصحراء الكـبرى والتى اعتمدت على بـيانات الأرصاد الجوية المتاحـة والمعلومات المرتبطة بأشكال سطح الأرض، ومن نتـائج دراسته أن مـحصلات انسيـاق وتحرك الرمال يمكن اسـتنتاجـها بمعرفـة سرعة الرياح وتحـديد فترات حـدوث العواصف (تكرارها) storms frequency واتجاه الرياح. كـذلك وجد أن الدراسة التـحليلية للأشكال الناتجة عن الرياح بأحجامـها واتجاهاتها المختلفة تساعد فى تـفهم ومعرفة الاتجاهات الرئيسية للرمال المتحركة.

وجدير بالذكر أنه لابد من دراسة عدة عناصر لكى يتسنى لنا تفهم الأشكال الناتجة عن الإرسـاب الهوائى وخاصـة الكثبـان الرملية sand dunes مثـل دراسة السطح الذى تنتشر فوقه مثل هذه الكثبان وكذلك دراسة المناطق الواقعة بينها والتى عادة ما تغطى برواسب رملية تختـفى فى أغلب الأحوال تحت التكوينات الحصوية الخشنة.

وتعد دراسة العلاقة بين اتجاه الرياح وقـوتها من جهة وكميات الرواسب من جهة أخرى ذات أهمية كبيرة فى تفـسير خصائص الكثبان الرملية من حيث الشكل

وكيفية التكون والتشكيل، وهكذا فإنه من الضرورى الاهتمام بتفهم نظم الرياح السائدة ومصادر الرمال المحلية، ومن المهم أيضًا توضيح مدى الاختلاف بين أثر كل من الرياح القوية والرياح الضعيفة، وهنا يمكننا الإشارة إلى أن Bagnold قد حدد السرعة القوية بالنسبة للرياح بأنها تلك التى تزيد على ٢٥ مللم/ ثانية وذلك عند ارتفاع ٣, سنتيمتر من السطح، وإن كان هذا كما يرى باجنولد ذاته يعتمد اعتمادًا جزئيًا على خشونة السطح ونوع الصخور والغطاء النباتى بحيث إذا زادت خشونة السطح فإن الرياح تهدأ قبل بناء الكثيب، ولذلك فإن بناء الكثبان وتكوينها فى المناطق التى تتميز بخشونة سطوحها يكون أقل احتمالاً بالمقارنة بإمكانية تكونها فوق السطوح الأقل خشونة والتى تتميز بالاستواء ، وعادة ما تتجه الرياح القوية إلى العمل على زيادة حجم الكثيب، ومن ثم يطلق عليها الرياح البانية للكثبان dunes building wind، بينما تؤدى الرياح الضعيفة إلى زيادة طول الكثيب على امتداد كتلته (King, C.A,H., p134) بالإضافة إلى أهمية فهم اتجاه الرياح وسرعتها فى المساعدة فى تفهم الأشكال الرملية الناتجة عن الإرساب الهوائى، فإنه من الضرورى أيضًا الإلمام بتفاصيل أكثر عن نسب فترات سكون الرياح وفترات قوتها وعمل مقارنة بينهما.

وعندما تترسب الرمال أثناء عملية نقلها فإنها تأخذ شكل تموجات أو ما يعرف بالنيم الرملى ripples أو تأخذ شكل كثبان عرضية transverse dunes، وهذا الترسيب المؤقت ينتج أساسًا عن حركتين يمكن إيجازهما فيما يلى:

١ ـ حركة القذف :

وتبدو أشكال الترسيب الناتجة عنها فى صورة تموجات صغيرة تتراوح أطوالها ما بين نصف سنتيمتر ومترين، ويتراوح ارتفاعها ما بين ١, سم وخمسة سنتيمترات، وقد كان باجنولد يعتقد بأن أغلب التموجات تنتج عن القذف الناتج عن اصطدام حبيبات الرمل القافزة فوق سطح غير منتظم نسبيا، وأن كمية الرمال المتراكمة فى الجانب المواجه للرياح سيكون أكبر منه فى الجانب المظاهر لها، حيث يتميز هذا الجانب الأخير بحمايته من عمليات القذف العنيفة violent bombard-ment. وعندما تكون الرمال متجانسة فى أحجام حبيباتها فإنها سوف تتحرك

مع الرمل الرياح بمعدل واحد، وعندما تترسب تكون كومة mound تظل ترتفع إلى أن تتشكل كومة أخرى فى الجانب المظاهر للرياح بحيث تذريها الرياح باتجاه منصرفها بحيث تشكل حافة عرضية transverse ridge، وحيث توجد بها حبات خشنة فإنها تنقل بالزحف على المنحدرات المواجهة للرياح فقط وتتراكم كرواسب خشنة على قمة التموج مما يؤدى إلى زيادة ارتفاعه وتصبح بمثابة سطح جيد للتصادم bounding surface تساعد على قفز الحبيبات التى تصطدم بها إلى مسافات أطول، وفى المقابل تعمل على اتساع المسافات بين التموجات الرملية، والنتيجة النهائية لهذه العملية تكون تموج ضخم mega ripple وخاصة فى المناطق التى تتوافر بها نسبة كبيرة من الرمال الخشنة وتهب فوقها رياح قوية تكون كافية لتحركها، وقد يصل طول موجة النيم هنا إلى ستة أمتار مع ارتفاع يزيد على نصف المتر.

٢ ـ الحركات الإيروديناميكية :

ينتج عن الحركات الإيروديناميكية ثلاثة من أشكال الإرساب الرملى تتباين فيما بينها من حيث الحجم، فقد تظهر تموجات صغيرة عادة ما تختفى عند حدوث عمليات قذف ميكانيكى قوى، وقد أجرى Bagnold تجارب معملية على التموجات الناتجة عن حركة الرياح المنتظمة فى رمال ناعمة وأثبت من خلالها أنه يمكن الاستدلال على الحركات الإيروديناميكية من خلال وجود تموجات رملية تظهر عندما تثار الرمال بفعل الرياح.

والواقع أن الأشكال الرملية الناتجة عن الإرساب بفعل الحركات الإيروديناميكية والتى تظهر بوضوح فى الكثبان الرملية العادية والكثبان الضخمة mega dunes تتكون نتيجة للتفاعل بين حركات ثانوية للرياح وبين سطح الأرض، فكما يحدث على سطح البحر من أثر للحركات الثانوية للرياح فى توليد أمواج متحركة وخطوط إزاحة مستمرة فإن نفس الشئ يحدث تقريبًا على سطح سهل صحراوى مستوى، وعندما تحمل الرياح كميات كبيرة من الرمال السائبة فإن حركتها تتوقف مع تراكم الرمال وتبدأ الرياح فى التفاعل مع السطح لتتولد تيارات ثانوية تعمل على تشكيل الرمال المتراكمة، وقد تتعقد العمليات مع تغير السرعة والاتجاه خلال فصول السنة.

ولتوضيح ما سبق: نفترض وجود سهل مستو تغطيه طبقة رملية سميكة ثم هبت عليه رياح من اتجاه ثابت تفوق سرعتها سرعة تحرك الرمال فتتكون نتيجة لذلك حركة تشبه حركة أمواج البحر تتعامد تقريبًا مع اتجاه الرياح، وقد ينتج ذلك أيضًا بسبب حدوث تغير مفاجئ فى درجة الحرارة أو بسبب كون هذا السهل المستوى يقع فى منصرف الرياح lee wind بالنسبة لإحدى الحافات المواجهة لهبوب الرياح، وتنتقل الرمال المنسافة من الأجزاء التى تزيد فيها السرعة إلى المناطق الأقل فى سرعتها بحيث تتراكم عليها فى شكل كومة mound حتى تصل السرعة فوق تلك الكومة الجديدة إلى معدل يكفى لإعادة تحريكها، وهذا يشبه ما يحدث عند تولد الأمواج فى مياه البحر المفتوحة.

وعمومًا، فإن عملية الانتقال الضخمة للكومات الرملية والكثبان تختص وترتبط بمثل هذه الأشكال بصورة منتظمة، فالجانب من الكثيب المواجه للرياح wind ward side يتعرض للنحت بمعدل أكبر من الجانب الآخر منه المظاهر لها، حيث تنتقل حبات الرمال المنحوتة وتترسب خلف قمة الكثيب مباشرة عند هبوط التيار الهوائى الذى يحملها(*)، وعندما يتجاوز الانحدار فى جانب منصرف الرياح (جانب الصباب) ٣٣ْ حينئذ تنزلق الحبيبات إلى أسفل مكونة ما يعرف بوجه الانزلاق.

ويرى Bagnold أن الكثبان الرملية صغيرة الحجم تتحرك بسرعة تفوق سرعة الكثبان كبيرة الحجم، ولذلك فهى تتحرك حتى تلتقى بالأخيرة وتندمج معها، ونتيجة لذلك نجد أن الكثبان الصغيرة عادة ما تختفى بشكل سريع، كذلك أشار إلى أنه قد وجد فى دولة «بيرو» كثبانًا من نوع البرخان (الكثبان هلالية الشكل) تتحرك بمعدل سنوى يتراوح ما بين ١٧ و ٤٧ مترًا. كما لاحظ Beadnell أن هناك علاقة وثيقة بين توزيع البرخانات وأحجامها مؤيدًا فى ذلك رأى باجنولد -Bag nold، حيث تابع بالقياس معدلات تحرك خمسة برخانات فى منخفض الواحات

(*) وجد كل من Sarnthein and Walger من خلال دراستهما فى حقول الكثبان بصحراء موريتانيا أن كمية الرمال التى تتحرك بهذه الكيفية تبلغ ٩٣ ألف متر مكعب، بينما تتراوح الكميات المنقولة بالقفز ما بين ٧ و ٣ مليون متر مكعب.

الخارجة لمدة عام وأظهرت نتائج متابعته لـها أن الكثبان الأكثر ارتفاعًا من ٢٠ مترًا قد تحـركت بمعدل سنوى ١ متـر وأصغرهـا ارتفاعًا (أربعـة أمتار) تحـركت بمعدل ١٨,٤ متر.

واستنتج مـن ذلك أن نطاقات الكثـبان الرمليـة فى واحات مـصر وشـمال السودان قد تقـدمت نحو ١٢٠ كيلومتر خلال سـبعة آلاف سنة. ويرى Beadnell كذلك أن الرياح التى حملت الرمـال التى نتجت عن حفر المنخفضـات بالصحراء الغربيـة وخاصة منخفض القطـارة وأرسبتهـا فوق الأسطح الصخرية الواقـعة إلى الجنوب منه فى أشكال مـتبـاينة أبرزها الغرود الطوليـة قد نشطـت بسبب سـيادة الجفاف المناخى فى الفترات الحديثة التالية لفترات المطر البلايستوسينية، كذلك يرى مورى Murry أن الغرود الرملية بصحراء مصر الغـربية قد تكونت فى نهاية العصر الحـجرى القـديم الأوسط، أى منذ ٢٥ ألف سنة، حـيث تم العثـور على أدوات حجـرية تنتمى إلى ذلك العصـر وذلك فى الممرات corridors التى تفصل الغرود الرملية بعضها عن البعض الآخر (Murry, W.G., pp427 - 428).

الأشكال الرملية الناتجة عن الترسيب الهوائى

تتعدد الأشكال الرملية التى تنتجها عـمليات الترسيب بفعل الرياح متراوحة فى أحجامها مـا بين تموجات خفيفة تعرف بـ « نيم الرمـال » تصل ارتفاعاتها إلى أقل من بضعة سنتيمترات وكثبانًا ضخمة mega dunes تزيد ارتفاعاتها على ١٥٠ مترًا، وحافات ضخمة وغطاءات سميكة من الرمال السائبة.

وفيما يلى معالجة تحليلية لأهم هذه الأشكال الرملية :

١ ـ التموجات والحافات الرملية صغيرة الحجم ripples and minor Ridges

تعد مـن الأشكال الرملية صـغيرة الحـجم التى نشأت عـن عملية تـرسيب سريعـة فوق سطح مسـتو نسبـيًا، يعتمـد طول موجتـها wave length على قوة الرياح، كما تعتمـد النسبة بين الارتفاع وطول الموجة height./wave lingth ratio على عرض مسطح التموج fetch[1]، وعادة ما نجد أن هذه النسبة محدودة للغاية فى حالة الرمال المتجانسة فى حجم حبيباتها، وتزيد مع وجود تباين كبير فى حجم

(١) يرى McKee, Goldsmith 1979 أن أبعاد النمـوذج تساعـد فى تحديد خصائص البيئات الهـوائية القديمة واتجاهات نقل الرواسب فى الماضى.

الحبات، ورغم نمو هذه التموجات والتى تمتد محاورها متعارضة مع اتجاه الرياح، فإنها لا تعد كثبانًا رملية حقيقية.

وبالنسبة للحافات الرملية الصغيرة فإن حجمها وطول موجتها يزدادان بوضوح مع مرور الزمن، ويعتمد معدل نموها على كمية المواد الخشنة المتوافرة وعلى عملية القفز.

وهناك خمسة عوامل تؤثر فى ارتفاع وطول التموجات والحافات الرملية الدقيقة تتمثل فى الرياح التى تعد القوة المحركة لعملية قفز الحبيبات وتضاريس المنطقة وحالة حركة الرمال وطبيعة عملية القفز وحجم وخصائص الحبيبات الرملية السطحية surface grains.

فمع التباين فى سرعة الرياح والتماثل فى حجم الحبيبات الرملية وجد أن طول الموجة يزداد مع تدرج الرياح فى السرعة، بينما يستوى سطح التموج ويختفى عندما تتجاوز الرياح فى سرعتها حدا معينا (Bagnold, 1941, pp205-225). راجع الجدول التالى:

جدول رقم (١٢) العلاقة بين سرعة الرياح سم/ ثانية وطول موجة النيم

سرعة الرياح سم/ ثانية	١٩,٢	٢٥	٤٠,٤	٥٠,٥	٦٢,٥	٨٨
طول الموجة بالسم	٢,٤	٣	٥,٣	٩,١٥	١١,٣	-

ويرى باجنولد أن التموجات العرضية فى الرمال ترتفع بسبب عدم توقف الانسياق الرملى، وحيث تتماثل طول موجتها مع متوسط طول المسافة التى تقطعها الحبيبات القافزة نتيجة اصطدامها بسطح الأرض؛ ولذلك يطلق عليها تموجات الاصطدام impact ripples.

ويتراوح معامل التموج ripple index (وهو عبارة عن النسبة بين طول التموج وارتفاعه) ما بين ١٥ و ٢٠ يزداد إلى ما بين ٥٠ و ٦٠ عندما يتسطح التموج أثناء هبوب رياح شديدة السرعة، وقد سجل شارب (Sharp 1963)

معاملات تموج تتراوح بين ١٢ و ٢٠ بمتوسط ١٥ ، وذلك فى التموجات الحصوية الموجودة فى كثبان كيلشو Kelso بصحراء موهافى الأمريكية، وقد وجد أن هذا المعامل (معامل التموج) يتجه اتجاهًا عكسيًا مع حجم حبة الرمل ويرتبط ارتباطًا مباشرًا بسرعة الرياح.

ويؤكد باجنولد Bagnold حدوث ضغط على السطح الرملى أثناء تكوين التموجات مما يؤدى إلى نحت بعض الحبيبات التى يعاد ترسيبها بسبب عدم قدرتها على التعلق، ومثلما الحال مع الحافات الرملية فإن الحبيبات الخشنة تتجمع عند قمة التموج التى يزداد ارتفاعها ليصل إلى مجال الرياح القوية التى قد تعمل على نقلها - تحريك القمة - ولذلك فإن ارتفاع التموج يعتمد إلى حد كبير على قدرة الحبيبات الأخشن على البقاء فى مواضعها على القمة والصمود أمام هبوب الرياح الشديدة وتعتمد كذلك على حجم الحبيبات الرملية المكونة للتموج.

وعادة ما تتميز التموجات الكبيرة بعدم انتظامها وتباين أحجام حبيباتها، ويرى شارب sharp أن عدم انتظام الشكل هنا يرتبط بشكل مباشر بتباين حجم حبيباتها، وأن التموجات الصغيرة عادة ما تتكون من حبيبات متجانسة الحجم، ويرى أيضًا أن التموجات التى تتكون من حبيبات متجانسة الحجم (متوسط أقطارها ٠٫٢٥ مللم) تختفى عندما تزيد سرعة الرياح على ٦٥ سنتيمتر فى الثانية أو أن تكون قدر سرعة تحرك الحبيبات[١].

وجدير بالذكر أن المؤلف قد لاحظ أثناء إحدى الدراسات الحقلية التى قام بها للكثبان الساحلية والنباك على حاجز بحيرة المنزلة نموًا واضحًا لتموجات رملية فوق جسم برخان كبير الحجم قرب منطقة الديبة ، والتى تعد من المواضع المحدودة على طول امتداد الحاجز التى تظهر بها أشكال رملية من أنواع الكثبان الرملية الأولية primary dunes التى اشتقت رمالها أساسًا من الشاطئ.

وقد رأى من خلال ملاحظاته وقياساته لنيم الرمال امتدادها متعامدة على اتجاه الرياح السائدة وأن طول موجاتها فوق الحافات الرملية المنخفضة أقل من ٦ سنتيمترات فى المتوسط وكما عرفنا فإن طول موجة النيم يتوقف على سرعة الرياح.

---

(١) ينقسم بروفيل التموج إلى أربعة عناصر السفح المواجه للرياح وسفح الظل والحوض والقمة وفى نيم الرياح تصل زاوية انحدار سفح الرياح ما بين ٨ - ١٠ درجة وفى سفح الظل ما بين ٢٠ - ٣٠ درجة (Sharp, 1963).

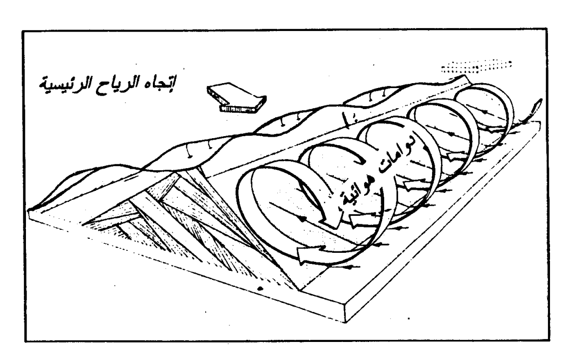
٢ ـ الكثبان الطولية Longtudinal Dunes :

يعرف هذا النوع من الكثبان الرملية بالسيوف أو الغرود وينتشر كثيراً فى الصحارى المدارية صحراء مصر الغربية وصحارى شمال إفريقيا وفى صحراء ناميبيا وصحراء إريزونا والجزيرة العربية وغيرها. وعادة ما تظهر فوق السهول المستوية نسبيًا والتى تغطى برواسب رملية مفككة ومنتشرة على مساحة واسعة، ويرى باجنولد Bagnold أن هذه الغرود الطولية قد تكون ناتجة عن حدوث تيارات هوائية لولبية helicoidal تقترن بالرياح القوية التى تهب بشكل دائم من اتجاه محدد مع امتداد محاورها بشكل عام فى موازاة هذه الرياح. وقد أكد Bagnold كذلك أن الرياح الجانبية تحول الشكل البرخانى إلى كثيب طولى وذلك من خلال العمل على إطالة أحد قرنيه وبذلك يصبح الشكل النهائى للكثيب محصلة لرياح ثنائية الاتجاه bidirectional wind وذلك فيما يعرف عند باجنولد بنظرية محصلة ثنائية الرياح two wind resultant theory وقد أكد كل من tibbitt and Mckee هذه النظرية فى دراستهما للكثبان الرملية بصحراء ليبيا عام ١٩٦٤، فقد وجدا أن الكثبان الطولية قرب واحة «سبها» جنوب غرب ليبيا تتحكم فيها بدرجة كبيرة رياح قادمة من اتجاهين هما الجنوب الشرقى صباحًا والشمال الشرقى فى المساء.

كذلك نجد Holmes يقترب فى تفسيره لكيفية تكون الكثبان الطولية من تفسير باجنولد حيث يرى بأنه حيث تهب رياح دائمة من اتجاه ثابت وتأتى رياح جانبية قوية متعامدة عليها فينتج عن ذلك تكون سلسلة من الكثبان الطولية فى شكل حافات مسننة تمتد فى موازاة الرياح السائدة وقد شبه ذلك بطريق تسير فيه عربات باتجاه واحد يفاجأ بقدوم سيارات إليه من أحد الطرق الجانبية مما يؤدى إلى فساد انتظام السيارات فى طريقها الرئيسى وانحرافها، ويؤكد كلامه من خلال الإشارة إلى امتداد سلسلة غرود أبو محاريق جنوبى منخفض القطارة حتى منخفض الخارجة والتى تفصلها عن بعضها سطوح صخرية عارية، وعندما تصل هذه الغرود إلى نطاق الرياح التجارية الجنوبية الشرقية تتجه نحو الجنوب الغربى مكونة كثبانًا هلالية (برخانات) كما سوف يتضح بالتفصيل فيما بعد.

ورغم وجاهة نظرية Bagnold فى تفسيرها لنشأة الـغرود الطولية وغير ذلك من الآراء المؤيدة لها والمتشابهة معها فإننا نجد Glennie غير مقتنع بها حيث يرى أن المعلومات المتاحـة عن قوة واتجاه الرياح السطحية مـحدودة للغاية فى تلك المناطق الصحراوية النائية التى تنتشر بها مثل هذه الأشكال كما لا توجد تسجيلات مناخية على مدى الأربع والعشرين ساعة يوميًا ولا تعرف هنا سوى النظم العامة للرياح.

ويوضح الشكل التالى رقم (٩١) تكوين غـرد طولى من خلال هبوب رياح من اتجاهين مختلفين يلاحظ ميل الطبقات الرقيقة فى الاتجاهين.



شكل رقم (٩١)

وتوجد فى مناطق عـديدة أمثلة لغـرود طولية قد نشـأت فى ظروف هبوب رياح من اتجـاهين مختلـفين وفقًـا لنظرية Bagnlod منهـا الغرود الطوليـة بولاية نبراسكا الأمريكيـة والتى يرجع تكونها إلى أواخر البلايستوسـين حيث تشير الأدلة على أنه كانت تـهب عليها رياح من اتجـاهين رئيسيـين خلال فـترة تكونها (فـترة وسكنسن الجافة dry late wisconson) وأهم هذه الأدلة مـا يتـمـثل فى أوجـه الانهيار حيث كـونت رياح الشتاء الشمالية الغـربية برخانات ضخمة تتـجه قرونها نحـو الجنوب الشرقى لتـأتى رياح الصيـف الجنوبية التـجارية الشـرقيـة وتصطدم بالسفـوح الشماليـة للقرون وتحولهـا إلى أوجه انهيـار شديدة الانحدار مما يسـاعد

بالتالى على تكوين دوامـات تتحرك نحـو الشرق مكونة حافات طوليـة من الرمال تشبه السيوف، ويرى Warren فى ذلك أن هذه العملية تختلف عن مفهوم باجنولد الخاص بتكوين الكثبان الطولية حيث إنها عبـارة عن عملية «إعـادة بناء للغرود» .(Warren, A, p339)

وبالنسبـة للتباعد المتـماثل لحافـات الغرود الطولية فإنه حـتى الآن لا يوجد تفسـير كاف له وإن كـانت هناك بعض الآراء التى تحاول تفـسيـرة مثل رأى كللوز Clos القائل بـأن التباعـد المتمـاثل بين الغرود الطوليـة يرجع إلى ثبات التـيارات الهوائية المعروفة باسم تيارات سيشى الاهتزازية seiche type يؤيده فى ذلك Folk من حيث المبدأ، وإن كـان يرى أنه بعد أن تتكون الغرود يتولد تيـار هوائى صاعد فوقه وبالتـالى تزداد سرعته تلقـائيًا ويزداد بالتالى حجم الغرد وطـبقًا لرأى كللوز Clos فإن هناك أدلـة على ثبات الدوامـات الحلزونية وجدت فـى الكثبان الرمـلية بصحراء سـمبسون بأسـتراليا حيث أظهـرت الدراسات الحقلية أن هذه الكثـبان قد تكونت حول نويات cores من رواسب فيضية قديمة لم تـتحرك من مواضعها منذ بدأ تكون الكثيب (Derbyshire, etal, p178).

ولا شك أن هذا الرأى يتعارض بطبيعة الحال مع الرأى القائل بأن العديد من نظم الكثبان قد تكون فى فترة البلايستـوسين عندما كانت تسود رياح قوية وخاصة أثناء الفـترة الجليدية، ومـنها رأى Fairbrdge الذى يربط بين حـدوث نشـاط بناء الكثبان بالمناطق الصحراوية وبين حدوث الجليد البلايستوسينى فى العروض العليا، كما يشير إلى وجود كـثبان رملية مختفية تحت مياه بحر «آرافـورا» شمالى أستراليا وفى الجزيرة العربية وغـرب أستراليا وغرب إفريقيـا، ويلفت النظر إلى وجود بقايا لكثبـان طوليـة فى حـوض زائيـر وجنـوب السـودان يحـتـمل أنهـا ترجع إلى البلايسـتوسين، ويبرر وجودها فى هذه العـروض الدنيا فيمـا بين خط عرض ١٠ درجة شمالاً وجنوبًا من خط الإستواء إلى أن المسافات القصيرة بين مناطق الضغط المرتفع والضغط المنخفض قد أدى إلى زيادة سرعة الرياح المتحركة فيما بينها.

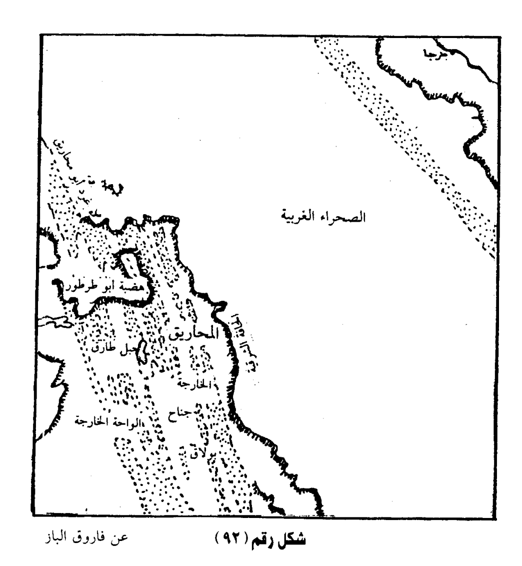
وأما عن ارتفاعات الكثـبان الطولية فنجد أنها قد تصل إلى ١٢٠ مـترًا كما هو الحال فى إيران ويصل ارتفاعهـا فى مصر إلى مائة متر ، وطبـقًا لباجنولد فإن

عرضهـا يبلغ تقريبًا قدر ارتفاعـها ست مرات (Thornbury, W.D.,1969, p296) وقـد تمتـد إلى مئـات الكيـلومترات فى مجموعـات متـوازيـة بالنسبة لسلسلة غرود أبو المحاريق فى صحراء مصر الغربية.

يظهـر هذا النمط من الأشكال الرمليـة إلى الجنوب الشـرقى من منخـفض القطارة باتجاه الشـرق نحو الأجزاء الجنوبيـة من منخفض وادى النطرون، وتتمـيز الغرود هنا بضـيقها وقـصرها مع امتـدادها نحو الجنوب الشرقى وهو اتجاه حـركة الرمال الرئيسى بالصحراء الغربية. وتعد مجموعة غرود أو سيوف أبو المحاريق من أعظم أنماط الغرود الطـولية ويبلغ طولها الحـقيقى ٣٥٠ كـيلومترًا ممتـدة من شرق منخفض الواحات البحرية باتجاه الجنوب الشرقى حتى دخوله منخفض الخارجة من الشمال وكأنه مـوجه إليه دون أن يحيد عن وجهته ويسـتمر داخل المنخفض ولكن مع تعديل فى اتجاه مسـاره، حيث لعبت الحافة الشرقية للمنخـفض وطبيعة السطح الذى ينخـفض على طول محـوره الأوسط إلى أدنى منسوب له ـ بجـانب طبيـعة الرياح السائدة أدوارها فى تغيـير اتجاه امتداده ليصبح شـمالى جنوبى وذلك لمسافة ١٥٠ كيلومتر ليصبح مجموع طوله ٥٠٠ كيلومتر وإن وجدت اختلافات كبيرة بين خصائصه على سطح الهـضبة وخصائصه داخل حدود المنخفض فهـو خارجه أكثر اتساعًـا وأكثـر وضوحًا فى أبعـاده حيث يصل إلى أقـصى عرض له قـبل دخوله منخفض الخارجة من الشمال شكل رقم (٩٢).

٣ ـ الكثبان الهلالية (البرخانات) Barchans :

تظهر الكثبان الهلالية عادة نتيجة لهبوب رياح من اتجاه واحد-unidirectional wind فوق رصيف صـحراوى صلب متماسك مع توفـر كميات كبـيرة من الرمال السائـبة، وعند وصول الكـثيب الهلالى إلـى مرحلة النضج يظهـر جانبـه المواجه للرياح wind ward side هين الانحدار مـتخـذًا الشكل المحدب convex shape، بينما يشـتد الانحدار فى الجانب المقـعر concave (باتجـاه منصـرف الرياح) الذى ينحصـر بين قرنين يشـيران إلى الاتجاه الذى تهب نحـوه الرياح ويلتقـيان فى نمط مقوس عند منتصف حضيضـه وعندما تصل درجة انحداره ما بين ٣٠ و ٣٤° تنهال رماله ، حـيث تعد زاوية الانحدار ٣٤ الزاوية الحـرجة بالنسبـة لاستقـرار السفح وثبات رماله السائبة.

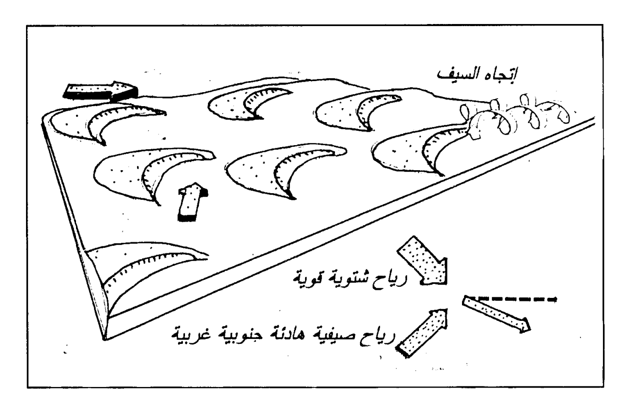


شكل رقم (٩٢) عن فاروق الباز

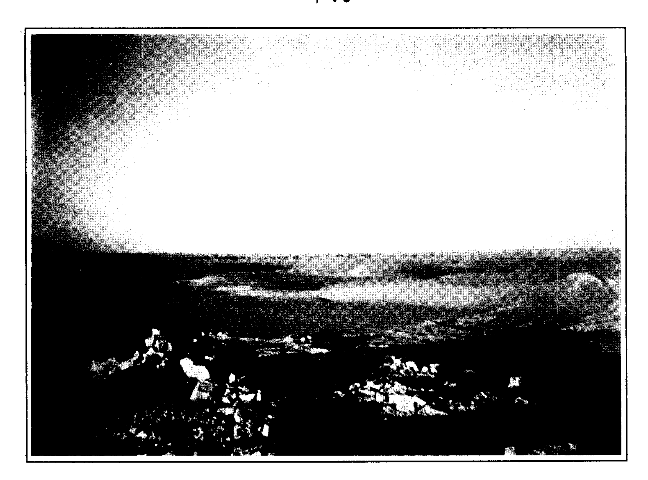
توضيح جبل طارق

ويرى كل من (أمباني وعاشور، ١٩٨٣) أن عوامل تكون البرخان تتمثل في هبوب رياح قوية أكثر من ٢٠ كيلومتر في الساعة بحيث تسود من اتجاه معين مع انحدار خفيف لسطح الأرض وانخفاض التضاريس وتوفر الرواسب الدقيقة. ويبدأ ظهور البرخان بتكون كومة رملية تزداد ارتفاعًا حتى يستقر الوجه المظاهر للرياح راجع شكل رقم (٩٣) الذى يبين مجموعة من البرخانات المثالية مع توضيح كيفية تكونها راجع كذلك صورة رقم (٢٤).

ويتميز القرنان في البرخان (الكثيب الهلالي) باستطالتهما بشكل مستمر، وقد يزداد أحدهما طولا عن القرن الآخر مما يشير إلى هبوب رياح غير منتظمة، أو قد يكون بسبب عدم انتظام كميات الرمال التى تضاف إلى الكثيب، أو قد يكون ذلك راجعًا إلى انحدار الرصيف الصحراوى الذى تكون فوقه الكثيب الهلالي.



شكل رقم (٩٣)



صورة رقم (٢٤)

ويلتقـى الجانبان فى كـثيـر من الكثبان على طـول حافة حـادة يتغيـرعندها الانحدار من انـحدار خفـيف نسبـيًا أعلاها إلـى انحدار شديد على طـول السفح المقعر، ولكن قد يلتقى الجانبان فى بعض الكثبان عند القمة (قمة الكثيب) ويتراوح عرض الكثيب الهـلالى ما بين ٥ و ٤٠٠ متر ، وتتراوح المسافة مـا بين قرنيه من ٢,٥ إلى ٢٥٠ مترًا كما يتراوح ارتفاعه مـا بين ٥ و ١٥٢ مترًا (إمبابى وعاشور، ١٩٨٣، ص٧٢).

وعادة ما يتقدم البرخان مع إضافة كـميات من الرمال إلى قمته أو يتقدم من خلال إزالة الرمال من أقـدام الجانب المقعر (سفح الانهـيال) إلى أن يصل انحداره إلى ٣٤ْ ، وأما الجانب الآخر المواجه للرياح والذى يتميز بقلة انحداره وتحدبه فإنه يتعـرض للنحت بمعدل أكـبر من سفح الانهـيال، حيث تتـحرك الرمـال المنحوتة وتستقـر خلف القمة مبـاشرة ويهبط التيـار الهوائى ويتجاوز الانحـدار فى جانب منصرف الريح درجة الاستقـرار وهنا تنزلق الرمال إلى أسفل مكونة سفح أو وجه الانهيال slipface (King, CAM, p1370) وعادة ما تختلف سرعة تحرك البرخانات البسيطة تبعًا لأحجامها وأشكالها ومواقعها، ويعتبر ارتفاع وجه الانهيال بشكل عام أكثر المتغيرات أهمية فى التأثيـر على حركة البرخان وإن كان لا يمكننا أن نتجاهل أثر كل من نظم الرياح وكمية الرمال المتوفرة وخصائص السطح والنبات الطبيعى.

وقد قامت دراسات هامة عن حركة الكثبان الهلالية فى منطقة وادى إمبريال بولاية كاليـفورنيا الأمريكيـة حيث تابع كل من Long and Sharp التغيرات التى طرأت على الكثـبان فى تلك المنطقـة خلال الفـترة من ١٩٤١ حـتى ١٩٦٣ (لمدة عشرين سنة) وأغلب البرخانات هنا من النوع الصغيـر المنعزل أصغرها حجمًا يبلغ عـرضـه (المسافة بيـن طـرفى القرنـين) تسـعة أمـتـار ويتراوح ارتفاع أكبرها ما بين ٨ و ١٢ مترًا وعرض بضعة أمتار ، أى أن أغلبها يتميز برقته (انخفاضه) حيث إن العلاقـة بين الارتفاع (المسافة الرأسـية بين القمـة والقاعدة) والعرض (المسـافة بين القرنين) منخفضة. وقد أشار العالمان السابقان إلى أنه من الأهمية بمكان عند دراسة أثر شكل البرخان على تحـركه أن نعرف ما إذا كان فى حـالة نمو أم فى حالة ثبات

وقد أشارا أيضًا إلى أن البرخان الذى له قمة وحافة brink يسلك سلوكًا مغايرًا للبرخان الذى تنطبق قمته على حافته ولذلك من المهم أن نأخذ فى الاعتبار عند دراسة تحرك الكثبان فى السهول الصحراوية مدى الاختلاف بين قمة الكثيب وبين حافته (Derbyshire, E, etal, pp181 - 182).

ومن الدراسات الخاصة بالكثبان الهلالية ما قام به Hastenrath, 1967 من دراسة لأثر الحركات الإيروديناميكية على البرخانات الهلالية فى منطقة بمبادى لاجويا جنوبى بيرو حيث يمتد حقل الكثبان على مساحة مائة كيلو متر مربع وعلى منسوب ١٢٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر فى منطقة رصيف صحراوى مغطى بحصباء، وقد قام بقياسات حقلية عديدة لطول أوجه الانهيال وعرض الكثبان وارتفاعاتها مع قياس زوايا الانحدار للجوانب المواجهة للرياح ومعدلات التحرك الكلى للكثيب خلال عدد من السنوات ومعدلات التحرك بالمتر فى السنة ، كما ربط بين شكل الكثيب وحجمه ودرس أيضًا الكثافة النوعية الكلية للكثيب (جرام/ سم٣) وأظهرت له الدراسة الأخيرة انخفاض الكثافة بالاتجاه نحو منصرف الرياح.

ويمكننا هنا أن نلخص دراسة هاستنراث Hastenrath فيما يلى من نقاط:

- عندما تسود ظروف رياح منتظمة مع توفر الرمال ووجود سطح مستوى فإن البرخانات تتحرك فى حالة من التوازن بمعنى آخر تتحرك دون حدوث اضطراب فى حجمها أو شكلها.

- إن وجود المواد الحصوية على الجانب المحدب من الكثيب تؤدى إلى حدوث اضطراب فى تيار الهواء فوقه بدرجة قد تؤدى إلى تقلصه وتلاشيه تمامًا.

- تزداد حركة الكثيب الهلالى بزيادة سرعة الرياح وإن كانت الرياح غير المنتظمة القوية يمكنها أن تؤدى إلى تدميره.

وجدير بالذكر أن البرخان عند تحركه عادة ما تبدى أطرافه - قرونه - حدًا أدنى من المقاومة عكس كتلته، ولذلك فهى تتقدم بمعدل أسرع، وتتراوح معدلات التحرك السنوية بين ستة أمتار للبرخان المرتفع كبير الحجم وأكثر من ١٥ مترًا بالنسبة للبرخان الأصغر.

وفى دراسة لـ «بحيرى» عن صحراء سوهاج (Behiry, s.,1967, pp54 - 59) عالج خلالهـا الأشكال الرملية الموجودة بها وخاصة فى الجـزء الشمالى من خليج جرجا حيث توجد نحو عشرة برخـانات واضحة المعالم على بعد ثلاثة كيلومترات غرب الحـد الزراعى. وقد أظهرت دراسـته أن هذه البرخانات تـستمد رمـالها من وادى جاف قريب منهـا يمثل مصدرًا ثابتًـا للرمال الناعمة التى تنقلهـا الرياح عبر سطح صـحراء سـوهاج إلى مناطق المجـروفات الرمليـة قرب أولاد غـريب وعند دراسته لأربعة برخانات ضخمة بالمنطقة (يصل طول الواحد منها ٢٣٠ مترًا وعرضه ٢٠٠ متر وارتفاعه ٤٠ مترًا) وجد أن أبعادها غـير منتظمة وتتعرض بشكل مستمر للاضطراب.

حركة الهواء وتحرك الرمال فى الجانب المظاهر للرياح بالكثيب الهلالى:

تزداد قوة الـدوامات الهوائـية وتزداد حجـمًا على الجـوانب من البـرخانات المواجهة للرياح وخاصة عند هبوب رياح عاصفة تتراوح سرعتها ما بين ٦٠ - ٨٠ كيلومترًا فى السـاعة وكما ذكرنا فإن الإرسـاب يحدث فى هذا الجانب عند انزلاق حبيبات الرمل وتراكمها أسفله عند تجاوز انحداره زاوية الاستقرار.

ورغم أن الكثيرين أمثال Cooper, Sharp لم يتأكـدوا من أثر الدوامات فى تكوين الكثبان عنـد دراساتهم الحقلية لذا نجد من جـانب آخر أن ملاحظات Hoyt الحقلية عام ١٩٦٦ على أثر حركـة الكثبان الرملية بصحراء ناميبيـا قد أثبتت جزئيًا أهمـية الدوامـات فى جـوانبهـا المظاهرة للرياح (فـى كل من الكثبـان العـرضيـة والهلالية).

فقد وجد أن تيار الهواء المتحرك فوق الجانب المحدب (المواجه للرياح) يصعد أعلاه متخطيًا قمته ومستمرًا فى تحركه باتجاهات مختلفة فوق جانبه المقعر، وعندما تشتد الرياح فإن تيار الهواء المتحرك فوق الجانـب المقعر يهبط أسفله ويعود فيصعد فوقه فى شكل دوامـة كبيرة. وطبـقًا لهوايت Hoyt فإن هذا الـتيار قـد يؤدى إلى تحريك وإزالة الرمال الموجـودة على السطح فى مواجهة الكثيب ليصـبح خاليًا من الرمال حيـث يتقدم فوقه الـكثيب بعد ذلك. وتتمـثل أهم هذه العوامل المؤثرة فى دوامة منصرف الريح lee eddy فى سرعة الرياح وكـمية الرمال وحجم الحبـيبات

والرطوبة وارتفاع الكثيب وكل هذه العوامل يمكنها أن تساعد فى زيادة فعالية الدوامة الهوائية وتقويتها للتحرك وحمل الرمال فى اتجاه تحركها (Warren, A., p338). وذكر ورين Warren فى ذلك أن برخانات الرمال فى عين صلاح بالجزائر يبدو أنها تولد دوامات قوية ومؤثرة عند أقدامها تؤدى إلى اكتساح الرمال والتى تظهر فى شكل أشرطة رملية تمتد فى اتجاه تقدم الكثيب.

إلى جانب أنواع الكثبان الرئيسية السابقة هناك أنواع أخرى عديدة مثل الكثبان العرضية transverse dunes وهى كثبان تمتد بشكل طولى تتميز بقممها شبه المستديرة وتبدو ممتدة فى خطوط مستقيمة متوازية تتقاطع مع الرياح السائدة ويتراوح طولها ٨ و ٥٠ كيلومتر وارتفاعها ما بين ١٦٥ و ٢٧٠ متراً وتشبه قممها قمم البرخان[1] وتظهر بها بعض الحفر الناتجة عن الدوامات الهوائية وكثيراً ما تتعرض جوانبها للانزلاقات، يبلغ انحدار الجانب المواجه للرياح ٢٥ درجة وعادة ما يرتبط هذا النوع من الكثبان بالصحارى القاحلة الخالية تماماً من النباتات (Thornbury, W. D., p298). كما ترتبط فى نشأتها بسيادة رياح واحدة مؤثرة راجع الشكل التالى رقم (٩٤)، وهى عموماً تمتد فى شكل حافات متصلة فى المناطق التى تغطى تغطية كاملة بالرمال (Collinson, J.D, 1978, p84).

ومن الكثبان أيضاً الكثبان النجمية وهى تشبه النجوم وتمتد على مسافة تتراوح ما بين ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ متر وتبدو فى الطبيعة ذات قمم مدببة أو ذراع ممتدة شديدة الانحدار تتميز الكثبان الصغيرة منها بأنها ذات قمة واحدة.

ومن المحتمل أن هذا النوع من الكثبان قد تكون بسبب حدوث تغير فى اتجاه الرياح، أو أنها قد نتجت عن التحام كثبان صغيرة بكثبان أكبر حجماً.

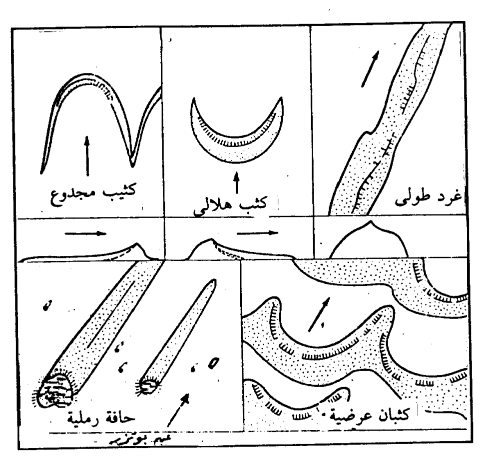
وقد تظهر كثبان هلالية صغيرة فوق جسم كثيب هلالى ضخم، كذلك كثيراً ما تتشكل التموجات الرملية (نيم الرمال) فوق الجوانب المحدبة للكثبان الهلالية، وعادة ما تلتحم الكثبان عند أحد قرنيها حيث تنقل الرمال من كثيب إلى آخر من القرنين وكلما اقتربا من بعضهما أدى ذلك إلى سرعة الالتحام. وتوجد كثبان قبابية الشكل domal يتساوى فيها طولها مع عرضها مع تماثل الانحدارات على الجوانب

---

(١) يرجع عدم استقامة قممها وظهور أنماط منحنية إلى تعاقب قطاعات محدبة ومقعرة باتجاه منصرف الرياح.

مع وجود قمـة الكثيب فى منتصفـه (إمبابى وعاشـور، ص٨١) كما توجد كـثبان بيضاوية الشكل oval dunes يمتد طوله فى توافق مع محور امتـداده ويتميز جانبه المواجه لمنصرف الريـاح بميله نحو الاستقامـة ويعد النوعان الأخيـران مرحلة أولية لتكون الكثبان الهلالية.

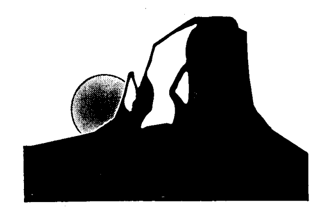
وهناك فرشـات رملية sand sheets تترسب فوق مـساحات واسعـة عادة ما يتميز سطحها بالتموج، ويظهر فوقها العديد من الأشكال الرملية. ومن أشهرها ما تعرف ببحر الرمال العظيم الذى يمتـد لمسافة نحو ٥٠٠ كم وبعرض نحو ٢٠٠ كم إلى الجنوب من واحة سيـوة حتى الحدود الشمـالية لهضبة الجلف الـكبير، ويصل سمك رواسبه الرملية إلى أكثر من ٨٠ مترا.



شكل رقم (٩٤)

أما بالنسبة للكثبان الساحلية بأنواعها المختلفة فقد درست تفصيلاً فى الفصل الخاص بجيومورفولوجية السواحل من هذا الكتاب.

الفصل الثامن





التعرية الساحلية وأشكالها الأرضية

مقدمة :

تنقسم السواحل بشكل عام إلى نوعين رئيسيين: النوع الأول - ويتمثل فى السواحل الجرفية أو سواحل الجروف cliff coasts، والنوع الثانى - ويتمثل فى سواحل الإرساب المنخفضة، وتظهر الأشكال الناتجة عن النحت بفعل العمليات البحرية بشكل واضح على سواحل النوع الأول، بينما تظهر أشكال عديدة إرسابية على السواحل المنخفضة. وعادة ما تكون الأخيرة نتاج غمر بحرى submergence أو قد تكون نتاج انحسار مياه البحر عن الهوامش الساحلية وهاتان العمليتان الأخيرتان ترتبطان أساسًا بتغيير مستوى سطح البحر، حيث إن حدوث أى ارتفاع أو انخفاض فى منسوب مياه البحر بالنسبة للساحل المنخفض يمكن أن يتسبب عنه حدوث تغيرات عديدة فى شكل الساحل.

وعند تعرض مستوى مياه البحار - على مقياس عالمى - للتغير فإن الآثار المترتبة على ذلك تظهر فى معظم سواحل القارات (وخاصة المنخفضة) وذلك فى شكل ملامح وأشكال ساحلية تدل على حدوث هبوط أو ارتفاع فى مناسيب المياه بالبحار.

وتعرف التغيرات فى مناسيب مياه البحار بالذبذبات الإيوستاتية eustatic fluctuations التى ترتبط أساسًا بالتغيرات المناخية التى تعرضت لها الأرض خلال البلايستوسين والهولوسين. فقد ارتبط بفترات القمم الجليدية البلايستوسينية انخفاض فى منسوب مياه البحار فى العالم تراوح فى مختلف الفترات الجليدية ما بين ١٠٠ و ١٥٠ مترًا، وبعد انتهاء العصر الجليدى وانصراف المياه بعد انصهار الجليد باتجاه البحر حدث ارتفاع فى مناسيب مياهها، ويقدر بأن معدل الارتفاع الإيوستاتى فى مختلف أنحاء العالم يتراوح فى الوقت الحاضر بين ١,١٢ و ١,١٨ مللم فى السنة (صبرى والشريعى، ١٩٩٥، ص١٧٣).

وما يعنينا فى هذا الفصل فى الواقع يتمثل فى دراسة الأشكال الأرضية الساحلية المرتبطة بعمليات النحت البحرية فى سواحل الجروف الصخرية والأشكال الساحلية المرتبطة بالتغيرات فى مستوى سطح البحر وتلك الأشكال الإرسابية المتعددة بما فيها سواحل الإرساب العضوى (السواحل المرجانية).

أولاً ـ الأشكال الأرضية الناتجة عن النحت البحرى فى سواحل الجروف :

تظهر الجروف فى قطاعات عديدة من سواحل العالم المختلفة بصرف النظر عن صخورها أو خصائص العمليات البحرية بها، فقد تظهر الجروف فى صخور ساحلية نارية شديدة الصلابة، كما أنها قد تظهر فى صخور رسوبية أقل صلابة كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد. وخاصة أن الكثير من الجروف الساحلية عادة ما تكون بمثابة أشكال أرضية موروثة inherieted landforms من فترات ماضية تم تعديلها ـ أى الجروف ـ بواسطة ما تعرضت له من غمر بحرى أثناء الهولوسين، دليلنا فى ذلك أننا كثيرًا ما نجدها تظهر على سواحل تتميز بهدوء الأمواج أمامها ـ أمواج باينة لا يمكنها بأى حال أن تشكل جروفًا ـ تمتد عند أقدامها أرصفة شاطئية واسعة ،بينما نجد جروفًا تتميز بضيق أرصفتها الشاطئية وعدم وضوحها بسبب تغطيتها بركامات السفوح التى نتجت عن تراجعها ـ أى تراجع الجروف ـ باتجاه اليابس، وقد تظهر جروف ساحلية تختفى من أمامها الأرصفة تمامًا بحيث تنحدر انحدارًا مباشرًا نحو المياه العميقة وهذه الجروف نشطة ولابد لنا أن نتذكر هنا أن عمليات التجوية القارية وانهيالات السفوح لها دورها الكبير فى تطور أشكال الجروف بتلك المناطق الساحلية، حيث إن البحر فى حد ذاته لا يستطيع أن يحدث تراجعًا سريعًا لها كما سوف يتضح ذلك بالتفصيل فى الدراسة التحليلية لنشأة وتشكيل الجروف.

وتختلف معدلات تراجع الجروف cliff recession تبعًا لاختلاف خصائص الصخور الساحلية واختلاف الظروف المناخية السائدة ومن ثم تظهر تباينات عديدة وتعقيدات بالغة فى أشكال الأرض الساحلية بشكل عام حيث إن السواحل تمثل جبهة الالتقاء بين اليابس والماء ولكل منها دوره فى تشكيلها وإعطائها سماتها وملامحها الجيومورفولوجية المتعددة كما سيتضح لنا ذلك بالتفصيل فيما بعد.

وقبل أن نتعرض بالتفصيل لدراسة الجروف وما يرتبط بها من أشكال وملامح أرضية يجدر بنا ذكر العمليات البحرية السائدة بتلك السواحل ودورها فى إبراز هذه الأشكال المتميزة.

أ ـ العمليات البحرية :

١ ـ الاحتجار بفعل الأمواج Wave Quarrying :

تقوم الأمواج من خلال هذه العملية بحركة جذب وسحب للمواد والمفتتات الصخرية من أوجه الجروف التى تواجهها بحيث تلقى هذه المواد والمفتتات بعيداً عنها باتجاه الشاطئ القريب near shore، وتنتج هذه العملية عن حدوث ضغط بسبب تكسر الأمواج المدمرة على أوجه شواطئ صخرية rocky shores يساعدها فى ذلك تقطع الصخور فى مرحلة سابقة بفعل عمليات التجوية،وتسبب تفصلها أيضًا، ومن ثم فإن عملية الاحتجار الموجى تتباين من ساحل إلى آخر تبعًا لاختلاف نوع الصخور المكونة للجروف ودرجة تجويتها ومعدلات نشاط عمليات الانهيارات الأرضية بها، وينتج عن الاحتجار عادة رصيف ينحدر بشكل عام نحو البحر ويتميز باستواء سطحه فى حالة ما إذا كانت طبقاته تميل متطابقة مع سطح الاحتجار plane of quarrying، وإذا لم يوجد هذا التطابق فى هذه الحالة تتكون أشكال مورفولوجية مختلفة مثل الكويستات صغيرة الحجم minor cuestas أو الربوات المنخفضة.

وجدير بالذكر أن الصخور المائلة والمنحدرة تكون أكثر قابلية للاحتجار بسبب انكشاف سطوح الضعف الصخرى أمام هجوم الأمواج على معظم أجزاء الرصيف.

٢ ـ الحت (البرى) الموجى Wave Abrasion :

يقصد بالنحت أو الحت الموجى تفتت المواد الصخرية وتكسرها بفعل الأمواج التى تعمل معها أدوات النحت من رمال خشنة وحصى، وفى أحيان كثيرة من الجلاميد.

والفرق بين هذه العملية وعمليات الاحتجار أن الأخيرة عبارة ـ كما ذكرنا فى موضع شرحها ـ عن جذب للصخور المجواة والتقاطها ثم إلقائها بعيداً عن مصدرها بينما يعنى الحت الموجى عملية تكسير فيزيائى للصخور وطحن للمفتتات debris attrition من خلال تكرار تقدم وتراجع الأمواج على طول الشاطئ. وعادة

ما يؤدى النحت أو البرى الموجى عند أقدام الجروف إلى تثليمها وتكوين تجويفات notches بها إلى جانب ما يعول به من صقل لرصيف الشاطئ (رصيف نحت الأمواج) من خلال ما يحمله من أدوات الحت.

وتختلف قوة عملية الحت الموجى باختلاف طاقة الأمواج وكمية أدوات البرى التى تتسلح بها الموجة، فهى تزداد قوة مع توفر الحصى pebbles والجلاميد الصغيرة والتى عادة ما نجدها متوفرة على سواحل الأمواج العاصفة بالعروض المعتدلة.

وتوجد علاقة قوية بين عمليتى الاحتجار من جانب والحت الموجى من جانب آخر، فإذا ما قويت عملية الاحتجار، فمعنى ذلك توافر كميات أكبر من المفتتات اللازمة لعملية الحت، ومعنى كل ما سبق أن الظروف الملائمة للعمليتين ظروف واحدة مما جعلهما يتلازمان فى وجودهما (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩١، ص١٠٦ ـ ١٠٧).

إلى جانب الحت الموجى هناك الفعل الهيدروليكى الذى تقوم به الأمواج وخاصة على سواحل الجروف التى تكثر بها الشقوق والفواصل الصخرية وخطوط الصدوع، حيث يؤدى تكسر الأمواج wave - breaking عند واجهة الجرف الساحلى إلى اندفاع الهواء داخل هذه الشقوق الصخرية وانضغاطه بداخلها بشكل فجائى مولدًا قوة ضغط على وجه الجرف، وعندما تتراجع الأمواج باتجاه البحر يتمدد الهواء المضغوط ويحدث بالتالى عند خروجه فرقعات explosion ينتج عنها تفكك الصخور وتقطعها وتوسيع للشقوق وزيادة تعمقها وتوغلها داخل صخور الجرف.

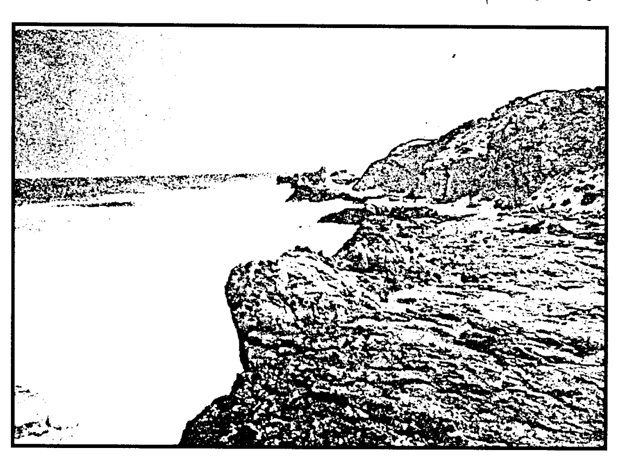
٣ ـ التجوية المائية Water Layer Weathering :

يعد هيلز (Hills, 1949) أول من أطلق هذا التعبير على تجوية صخور الساحل كنتيجة لتعاقب البلل wetting مع التجفيف drying ويتأثر وجه الجرف وخاصة عند إقدامه بهذه العملية، حيث تتعرض صخوره أثناء الجفاف للتجوية

(*) تحدث ظاهرة التكهف cavitation عندما تندفع مياه شديدة السرعة داخل الشقوق.

الفيزيائـية من خلال عملية النمـو البلُّورى للأملاح داخل الشقوق وبـين المسامات الصخرية إلى جانب سيادة عمليات التجوية الكيماوية الناتجة عن التفاعل الذى يتم بين المعادن المكونة للصـخـر ومياه البحـر ـ التحلل المائى hydrolysis والتى تصل إلى السـاحل بشكل دورى إلى جـانب تأثرها كذلك ـ أى الصـخـور ـ بعمليـات التموء hydration.

ويمـتد نطاق التـجـوية من الحد الأعلى لرذاذ الأمـواج sprays حتى نطاق التـشـبع الدائم permanent saturation zone، وينتج عـن التـجـويـة مـلامح مورفولوجـية دقيقة مثل تنقـير الصخور وتحززها فـوق سطح الرصيف وعند أقدام الجرف صورة رقم (٢٥).



صورة رقم (٢٥)

وتـلعب الخـصـائـص الليثـولوجيـة دورهـا فى تبـايـن هـذه الملامح الدقيقة، حيث تخـتلف درجة وأهمـية التجـوية المائية تبعًـا لنوع الصخور المـكونة لرصيف النحت وصورها التركـيبية، فهى تتأثر كـثيراً بدرجة نفاذية الصخر ومـيل الطبقات

dip of strata . كما تتأثر عمليات التجوية تأثرًا كبيرًا بالعوامل المناخية السائدة على الساحل سواء بشكل مباشر من خلال التأثر بدرجة اتساع الفارق الحرارى واختلاف معدلات التبخر التى بدورها تؤثر فى فعــالية تعاقب البلل والجفاف أو تتأثر بشكل غيــر مباشر من خــلال تأثرها بنظم الأمواج السائدة، حــيث إنها تنشط كثــيرًا مع الأمواج الضعيفة المنخفضــة ، بينما تضعف مع الأمواج القوية والتى بدورها تقوى عملى الاحتجار والحت الموجى بدرجة يمكن أن تختفى معها التجوية الكيماوية.

وعمــومًا ، يظهــر تــأثير التــجوية المائيــة بوضوح فى الســواحل ذات المناخ الرطب المرتبط بمعــدلات تبخر منخــفضة ومــد وجزر نصف يومى semi duranal وتزداد فعالية وقوة على السواحل التى ترتفع بها معدلات التبخر ويسودها نمط المد والجزر اليومى والمختلط durnal and mixed مثلما الحال على معظم سواحل البحر الأحمر فى مصر.

٤ ـ الإذابة Solution :

ترتبط عملية الإذابة ارتبــاطًا قويًا بالخصائص الليثولوجيــة لصخور الساحل، وتعد الصخــور الغنية بالكربونات أو المتلاحمــة بواسطتها من أكثــر أنواع الصخور تــأثرًا بالإذابة وخاصة مع إماجة مياه البحر فى منطقة تكسر الأمواج.

وتزداد معدلات الإذابة على السواحل المدارية بسبب امــتداد الصخور الجيرية على طول قطاعات طويلة منها وضعف الاحتجار والحت الموجى، ويؤدى انخفاض مــعدلات الإذابة القــارية فى هذه العــروض إلى وضوح الآثار الناتجــة عن الإذابة البحــرية مع الأخذ فى الاعتبــار صعوبة الفــصل هنا بين الإذابة البيولوجــية وتلك الناتجة عن مياه البحر، ويرى Cloud فى ذلك أنه يجب التفرقة بين ملامح التحزز فى صخــور الحجر الجــيرى والتى تنتج عن الأحــياء الحفــارة فى نطاق المد والجزر وبين تلك التحــززات الناتجة عن عمليات الإذابة وهذا الأمــر يستلزم الإلمام الكامل بالأدلة المرتبطة بإذابة الصخور.

ويرى كل من Reveile and Emery أن عمليــة الإذابة فى السواحل المدارية ترتبط بحدوث زيادة ليلية فى نسبة ثانى أكسيد الكربون بالماء وذلك بسبب انخفاض درجة الحــرارة وكذلك بسبب توقف النبــاتات البحــرية عن القيام بعــملية التمــثيل

الضوئية photosynthesis، وقد أشارا كـذلك إلى أن المسطحات المرجانية المتسعة والممتدة تحت مستوى علامة الجزر لدليل على حدوث إذابة للصخور الجيرية فى نطاق المد والجزر، أم الأجزاء الأعلى من هذا المستوى فإن ما بها من أشكال إذابة يرجع فى أساسه إلى رذاذ الأمواج (راجع المؤلف، ١٩٩١).

٥ ـ النحت البيولوجى :

تقوم الأحياء البحرية بدور كبير فى تفتيت صخور السواحل المدارية وتجويتها وخاصة تلك السواحل الغنية بالصخور الجيرية، ويرى Emery أن النحت البيولوجى يعد من أسرع الطرق التى تؤثر فى صخور نطاق المد والجزر، وقد أظهرت الدراسات العديدة العلاقة القوية بين حدود بيئة تلك الأحياء والمناسب التى يصل إليها تأثير الأمواج.

وترجع التعقيدات فى الأشكال الناتجة عن الأحياء النباتية والحيوانية بتلك السواحل إلى اختلاف قدرة هذه الأحياء على التشكيل، وترجع كذلك إلى اتساع الرصيف البحرى، وعادة ما تزدهر الأحياء البحرية فى سواحل الأمواج ذات الطاقة المنخفضة وخاصة عندما تتكون صخورها من الجير أو تتلاحم بواسطته. وتظهر العديد من الملامح والأشكال الناتجة عن النحت البيولوجى من التجويفات والشقوق[١].

وجدير بالذكر أن العديد من الكائنات البحرية تستمد غذاءها من الصخر نفسه مما يؤدى بالتالى إلى تفتيت صخور الساحل وظهور ملامح مورفولوجية بارزة من الشقوق والحفر والتى كثيرًا ما تكون مأوى للعديد من أنواع الأحياء البحرية الحفارة.

ب ـ الانهيارات الأرضية والجروف :

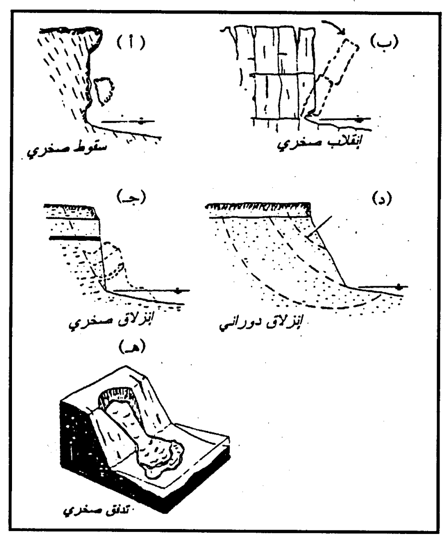
تتعرض الجروف للانهيارات الأرضية mass wasting بأنواعها المختلفة والتى تؤثر كثيرًا على تطور الجروف وما يرتبط بها من أشكال أرضية.

---

(١) تعد الطحالب الخضراء الضاربة للزرقة blue green algae من أكثر الأحياء النباتية أهمية فى تشكيل مثل هذه التجويفات الساحلية.

تنقسم الانهيـارات الأرضية التى تتعرض لها السواحل الـصخرية إلى أربعة أنواع تتمثل فيما يلى:

١ ـ السقوط الصخرى rock fall : يتمثل فى سقوط كتل صخرية تبدو عند سقـوطها غير مـرتكزة على سطح الجرف، وتنقسم إلى قـسمين ثانويين: أولهـما سقوط الصخر (الكتل الصخرية)، وثانيهـما سقوط المفتتات الصخرية ويرتبط ذلك أساسًا بنوع الصخور المكونة للجـرف قبل التعرض لعـمليات السقوط وعـادة ما تتعرض لها الجروف شديدة التفصل المكونة من صخور جيرية أو طينية، ويقدر كل من (Williams and Davies, 1987) تراجع مثل هذه السواحل بمعدل سنوى يصل إلى ٦,٨سم. شكل رقم (٩٥).



عن سونامورا

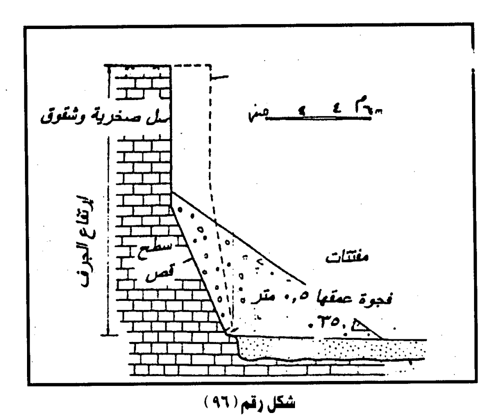
شكل رقم (٩٥)

٢ ـ سقوط كـتل صخرية مع حدوث ارتكاز لهـا أعلى السفح أثناء حركـتها إلى أسفل فيـما يعرف بعملية الانقـلاب الصخرى toppling وتظهر هذه النوع من الانهيارات الأرضية فـوق الجروف المكونة من صخور صلبة متفصـلة تفصلاً رأسيًا vertical Jointing مثلمـا الحال على الجروف الطينيـة على ساحل واردن Warden بجـزيرة Sheppey بإنجـلترا وخـاصـة عندما تـتعرض لتكون فـجوة الأمـواج .(Sunamura, T,. 1992, p107)

٣ ـ **انزلاق صخرى**: ينتج عادة عن حدوث إزاحة قص shearing displace-ment على سطح انزلاق محدد distinct slip face ينقسم بدوره إلى نوعـين هما الانزلاق اللوحى planar sliding. والانزلاق الدورانى rotational sliding. غالبًا ما يحدث النوع الأول على سطح انزلاق خطى linear (مسـتقيم)، بينمـا يحدث الثانى فوق سطح دائرى circular plane وقد يكون الأخير انزلاق ضحل أو عميق تبعًا لعمق سطح الانزلاق (راجع الشكل السابق (٩٥) وغـالبًا ما يتعرض له معظم الجروف.

٤ـ التدفقات flows: تتحرك فـيها المواد الصخرية إلى أسـفل فوق جروف مكونة من صخـور صلصالية وتبدو فى شكل تدفـقات طينية mudflows عادة ما تبدأ بحركة انزلاق طينى mudslide وقد تتفكك الكتلة الطينية أثناء تحركها مما يؤدى إلى حدوث تدفـقات طينية فى مرحلتـها الأخيرة مع الأخـذ فى الاعتبار صـعوبة التفرق بين الانزلاق والتدفق الطينى أثناء الدراسة الحقلية ودائمًا ماتعمل الانهيارات الأرضية على عدم استقرار قطاع وجه السـفح حيث يبدو نتيجة لذلك أقل انحداراً more gently sloping profile مع تراكم المفتتات بشكل مستمر عند قاعدته مع ما تقوم به الأمـواج من إزالة لهذه المفتـتات تنتقل إلى مـرحلة أخرى تالية تتـمثل فى عمليات حت وتقويض سفلى undercutting عند أقدام الجرف بدرجة تجعل أعالى الجرف أكثر انحدارًا وأقل ثباتًا.

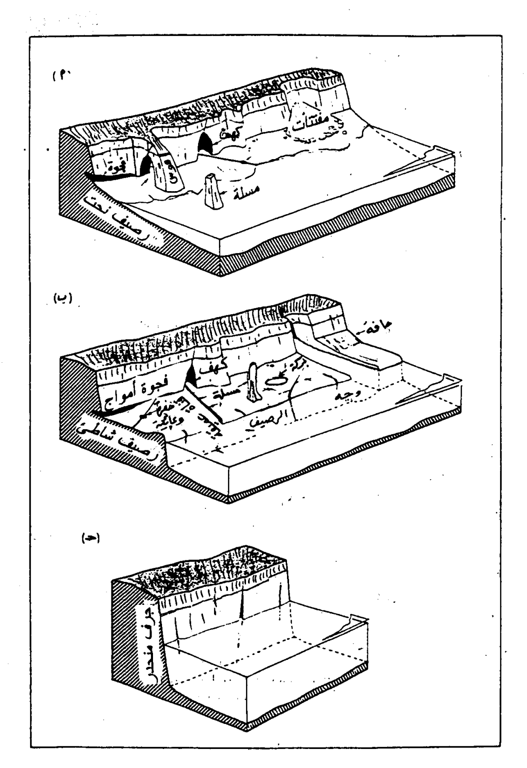
ويوضح الشكل التالى رقم (٩٦) قطاعـًا فى جرف طباشيـرى بجزيرة ثانت thant بإنجلترا قـام بدراسته وقيـاسه (Hutchinson, 1984,) يبلغ ارتفاعـه ١٥ مترًا ويتكون من طبقات أفقية من صخور الطباشـير التى تكثر بها الفواصل الرأسية وقد تعرض لانهـيار قص shear failure نتيـجة امتـداد شق ناتج عن الشد tensionsl crack طوله سبعة أمتار وتـكون فجوة موجية a wave - cut - notche بعمق نصف متر عند قدمه مما ساعد كثيرًا على حدوث عمليات الانهيار.



شكل رقم (٩٦)

الجروف الساحلية والأشكال المرتبطة بها :

يتـضح لنا من فـحص قطاعـات بالجـروف السـاحليـة العـديد من الملامح المورفولوجية التى ترتبط بتبـاينات ليثولوجية وتركيبية وشكلتهـا كما ذكرنا عمليات التجوية والنحت البـحرية والانهيارات الأرضيـة، فنجد أن الأجزاء من التكوينات الصخرية السـاحلية الأكثر مقاومـة لعمليات التعرية تبـرز فى شكل رءوس أرضية متعـمقة فى مياه البحـر ومسلات stacks تظهر بوضوح فوق مـستوى سطح الماء بمنطقة الرصيف البحرى (رصيف نحت الأمواج) كما أنها قد تظهر فى شكل جزر ساحلية قـريبة من خط الشاطئ مثل جـزيرة «مكور» التى اقتطعت من رأس بناس بالبحر الأحمر. أما الأجزاء الضعيفة فينتج عن نحتها تكوّن خلجان بحرية وشروم وكهوف وغيرها كما يتـضح ذلك من الشكل رقم (٩٧). وجدير بالذكر أن الكثير من الجروف شديدة الانـحدار وخاصة المكونة من صـخور نارية صلبة تتمـيز بعدم مساميـتها وكثرة مفاصلها عـبارة عن أشكال ساحلية موروثة قد تم تعديلهـا نسبيًا بواسطة الغمر البحرى الهولوسينى وخاصة مع وجودها الآن فى بيئة ساحلية تتميز بأمواجهـا الضعيفة مثل السـواحل الجرفية النارية على الساحل الشـرقى والشمالى الشرقى لجزيرة شدوان بالبحر الأحمر.



شكل رقم (٩٧)

وهذه الجروف المنحـدرة أو الساقطة plunging cliffs تنحدر عادة نحـو مياه عميقة دون أى ظهور لرصيف الشاطئ (راجع شكل رقم ٩٧) وقد درس (Cotton, 1968) الجروف الساقطة على طـول ساحل جزيرة بانكس Banks بنيوزيلندا وهى

جروف بازلتية صلبة تنحدر نحـو أعماق تتراوح بين ٣٦ و ٥٤ مترًا ويرى Cotton أنها قد نشأت نتـيجة لغرق جروف منحدرة أصلية كانت قـد نشأت بفعل الأمواج قبل الغمر الهولوسينى، كذلك توجـد جروف ساقطة أخرى ترتبط بالصدوع مثلما الحال على سواحل ولنجتون بنيوزيـلندا. والملاحظ لهذه الجروف يجد عدم وضوح أثر النحت الموجى لها بمعنى أنها مـوروثة بالفعل من فترات زمنية سـابقة وقد ذكر cotton أن ذلك يرجع إلى عـدة عوامل يتـمثل أهمهـا فى تولد أمواج مـرتدة مع نـقص المفتتـات الصخريـة التى قد تستخدم كـأدوات حت تمتد أمامها أعماق كبيرة لا تتيح مثل هذه المفتتات للأمواج القادمة. وعامل آخر هام يتمثل فى شدة صلابة الصخور ومـقاومتها لعـمليات الحت الموجى. ويرى Bird أن قصر المسـافة الزمنية منذ حدوث الغـمر الهولـوسينى لم تعط فرصـة لعمليات النـحت البحرية لتـقوم بدورها فى تراجع مثل هذه الجروف (Sunamura, T., p144).

ويرى البعض أيضًـا فى تفسير عـدم تأثرها بشكل واضح بعمليات التـعرية البحرية إلى أن وضـعها الرأسى فرض توزيعًـا رأسيًا للفعل الهـيدروليكى للأمواج بحيث يتركز أثره عنـد قاعدة الجرف قرب مستوى سطـح البحر ونفس الوضع قد فرض على عمليات الحت الميكانيكى حيث تقوم الأمواج عند جبهة الجرف بالتقاط رواسب القاع وإلقـائها عند أقـدام الجرف ـ قرب سطح البـحر ـ ومن ثم يقتـصر دورها الحتى على نطاق محدود فقط من وجه الجرف.

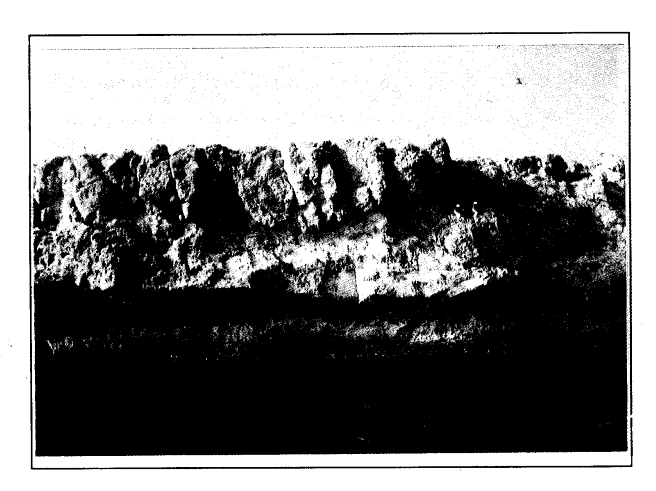
وعمـومًا ، فإن الأوجـه الحرة للجـروف الساحلية عـادة ما ترتبط بهـجوم الأمواج القـوية التى تتكسر عند أقـدامها وتعمـل بقوة ضغطهـا التى قد تصل إلى ٦٠٠٠ رجل على القـدم المربع على توليد قـوة ديناميكية مـركزة وشـديدة كذلك ترتبط أوجه الجروف بوجود مفتتات صخرية محتجرة quarried rocks تتراكم على الرصيف البـحرى أو تترك على طول الشاطئ ، ومع انخـفاض معدلات التـجوية وانخفـاض معدلات الانهـيارات الأرضيـة تتطور منحدرات الجـروف ببطء شديد وخاصة عندما تميل الـطبقات ـ إذا كانت طبقية ـ المكونة لهـا تجاه اليابس أو تكون فى وضع أفقى. أما إذا كانت الطبقات المكونة للجرف تميل جـهة البحر فإنها غالبًا ما تظهر فى شكل جروف رأسية.

والواقع إن تطور الجروف يختلف تبعًا لاختلاف الظروف المناخية ولقد أشار تريكارت Tricart وكايو Cailliux عام ١٩٦٥ إلى وجود اختلافات هامة بين السواحل الرطبة والسواحل الجافة حيث أظهرا أن السواحل بالعروض الحارة الرطبة تتراجع ببطء مع قلة انحدارها وأرجعا ذلك إلى ضعف عمليات الانهيارات الأرضية بسبب غطاءاتها النباتية الكثيفة وذلك باستثناء أقدامها التى قد تبدو عارية مثل بعض قطاعات السواحل فى ليبيريا وكولمبيا.

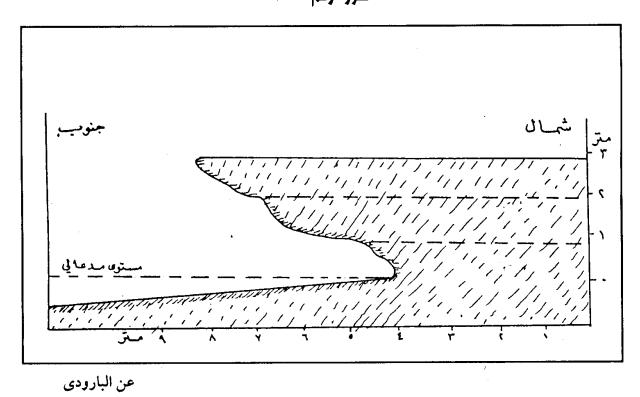
وبالنسبة للجروف بالسواحل الحارة الجافة فإن قلة الغطاء النباتى والحصوى بها يؤدى إلى زيادة نشاط عمليات الانهيارات الأرضية وبالتالى زيادة انحدارها ، بينما يضعف دور النحت البحرى فى تطورها ويقتصر دور البحر فقط على عمليتى التجوية والإذابة (Davies, J.L, 1978 p92).

وفى دراسة للمؤلف بجزر فرسان السعودية عام ١٩٩٥ قام بعمل بعض القياسات الخاصة بالجروف المكونة من صخور الحجر الجيرى المرجانى أظهرت بجانب الملاحظات أن الرأى السابق لديفيز Davies ليس حكمًا عامًا على خصائص السواحل المدارية فهذه الجروف تبدو مقوضة تقويضًا سفليًا واضحًا على طول امتداد قواعدها بحث تكونت فجوات الأمواج التى يبدو أنها قد اتسعت جانبيًا فالتحمت ببعضها البعض لتكون توغلاً بحريًا واضحًا عند أقدام هذه الجروف المنخفضة بالجزيرة والتى لا تزيد فى ارتفاعها عن بضعة أمتار فتبدو فى شكل شرفات visors كما يتضح ذلك من الصورة التالية رقم (٢٦) يمتد أمامها رصيف شاطئ هين الانحدار تجاه البحر ومن هذه الجروف جروف خليج جنابة المرجانية، كذلك تظهر جروف تحيط برأس «شدا» بنفس الجريرة من الجنوب تتميز بشدة انحدارها نحو رصيف شاطئ تطل جهته على مياه تصل أعماقها إلى نحو مائتى متر يعتقد المؤلف أن هذا الرصيف ينتج أساسًا من تراجع الجروف سابقة الذكر وهو فى تطوره واتساعه يرتبط ارتباطًا واضحًا بتراجع هذه الجروف. شكل (٩٨).

وتظهر الصورة رقم (٢٧) انهيار جرف بحرى بساحل خليج جنابة نتيجة لعمليات الإذابة والتقويض السفلى الذى يتعرض لها بشكل مستمر.



صورة رقم (٢٦)



عن البارودى

شكل رقم (٩٨) قطاع لجرف بحرى فى خليج جنابة جنوب قرية فرسان

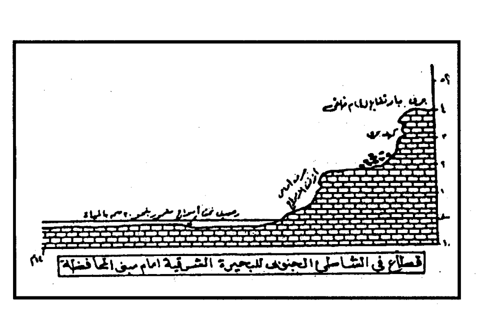


صورة رقم (٢٧)

وقد أشار (Bird, 1978) إلى وجود جـروف ثنائية الدورة بالعـروض العليا يبدو فـيها الجرف السـاحلى كمنحدر أو سـفح علوى يرتفع فوق جروف حـائطية slope over wall يعتقد بأنها نتاج حـدوث نحت شديد لجروف أقدم بسبب نشاط عمليات الانهيارات الأرضية فى البلايستوسـين أعقبها حدوث تقويض سفلى بفعل الأمواج خلال فترة دفيئة تالية لفترة الجليد الأخيرة.

والواقع أن هذا النمط من الجروف الثنـائيـة التى أشـار إليها Bird لا يقتصر وجوده فى العروض الباردة بل قد يظهر فى بعض قطاعات من السواحل بالعروض المختلفـة، وقد نتج بعضـها كذلك بسـبب حدوث نوع من التوازن بين العـمليات الأرضيـة من أعلى والعمليـات البحرية من أسـفل (للاستـزادة، راجع للمؤلف، ١٩٩١، ص١٢٠).

وفى دراسة للمؤلف بمنطقة بحيرات ساحل مرسى مطروح لاحظ وجود نوع من الجروف الثنائية فى شكـل درجين يمتدان بموازاة خط الشاطئ الجنوبى لبـحيرة مطروح الشرقيـة يمتد لمسافة ٨٠٠ متـر ترتفع الدرجة الأمامية عن مـستوى سطح البحيرة بما يتـراوح بين المتر والمترين تعلوها الدرجة الخلفية كجـرف يتراوح ارتفاعه ما بين ٣ و ٤ أمتار، تتـميز الدرجة السفلى الأمامـية بتقطع واجهتها شـبه الرأسية بسبب عمليـات التجوية والتعرية المائيـة وخاصة أقدامهـا التى تتعرض بشكل دائم للبلل، وقد لاحظ المؤلف كذلك امـتداد رصيف بحيرى أمام الجرف الـسفلى يمتد داخل البحيـرة باتجاه الشمال لمسافة تتـراوح بين ٣٠ ألى أكثر من مائتى متر يـتميز بأفقيـة سطحه ويرى المؤلف أن هذا الرصيف قـد تراجع مع تراجع الدرج السفلى جنوبًا وهو يمتد من عـلامة المد العالى باتجاه أقدام الدرج السفلى إلـى مستوى أقل قليلاً من مـستوى الماء عند الجزر، وقد لـعبت عمليات الإذابة والحت والاحـتجار الموجى دورها فى تطور هذا الرصيف الذى يتميز بتجـانس صخوره وبساطة بنيته. لاحـــــظ الشكل رقم (٩٩) والصـــــورة رقم (٢٨).



شكل رقم (٩٩)

ومـــن الجـــــروف التى درسـها المـــؤلـــف جـــــروف منطقة الضبعة على سـاحل البحر المتوسط فى مصر وتظهر هنا فى قطاعين من الساحل.

القطاع الأول ويمتـد من منطقة السيرة لمسـافة أربعة كيلومـترات بارتفاع ٢٢ مترًا، والـقطاع الثانى ويمتد من مـرسى أبو سمرة باتجاه عـام من الجنوب الشرقى



صورة رقم (٢٨)

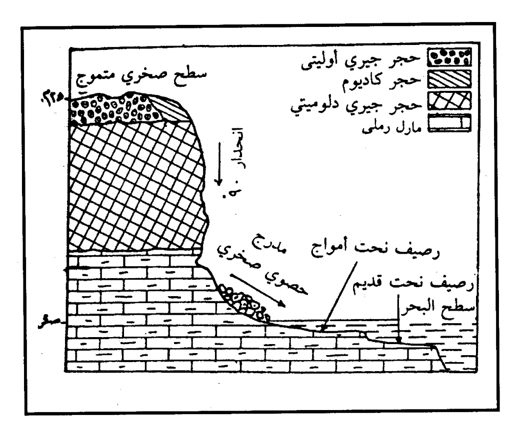
نحو الشمال الغـربى، ترتفع الجروف هنا عن مستوى سطح البحـر بنحو ٢٥ مترًا وتعد جروف هذا الساحل نتـاج ظروف ليثولوجية متمـثلة فى تكوينات من صخور الحجـر الجيرى المتـماسك والذى يتمـيز بتجـانسه وميل طبـقاته نحو الشـمال مع الانحدار العام للأرض. وهى أيضًا نتاج ظروف تركيبـية حيث تمثل النهاية الشمالية لمحدب وحيـد الميل تعرض لتصدعات تمتـد خطوطها فى موازاة مضـرب الطبقات على طول خط الشاطئ من الشرق إلى الغرب.

ويبين الشكل التالى رقم (١٠٠) قطاعًا توضيحيًا لجروف أبو سمرة تظهر من خلاله بعض الخصائص المورفولوجية يمكن إيجازها فيما يلى:

ـ جـرف ساحلى ينحـدر انحـدارًا رأسيًـا نحو الـبحـر مع تراكم الرواسب الحطامية من جلاميد وحصى عند قدمه الأقل انحدارًا والمكون من المارل الرملى.

ـ تتكون صخور الجرف من طبقة علوية من الحجـر الجيرى الحبيبى ـ سمكها ثلاثة أمتار فقط ترتكز على طبقة من الحجر الجيرى الدلوميتى بسمك ١٥ مترًا تليها

إلى أسفل طبقة من المارل الرملى مكونة الجزء الأسفل من الجرف ومعه رصيف نحت أمواج يمتد أمامه تحت منسوب سطح ماء البحر.



شكل رقم (١٠٠)

رسم توضيحى لأحد الجروف الساحلية بمنطقة أبو سمرة

- يظهر رصيف النحت البحرى فى مستويين مختلفين العلوى ويمثل الجزء الأحدث والسفلى ويمتد أمامه نحو البحر ممثلة لمرحلة جيومورفولوجية سابقة فى تطور الساحل وينحدر سطحه انحدارًا هينًا ما بين درجتين وثلاث درجات نحو البحر منتهيًا إليها بجبهة منحدرة عن الجرف بنحو كيلو مترين ونصف مما يساعد على قدوم الأمواج الشمالية والشمالية الغربية نحو الساحل بكامل طاقتها تتكسر عند أقدامه وتؤدى إلى نحتها.

- يلاحظ وجود مدرج حصوى عند أقدام الجرف نتج عنه تعرض وجه الجرف لعمليات التجوية والانهيارات الأرضية، ويتميز هذا الدرج الرسوبى بعدم استمراريته (تقطعه) وانحداره المعتدل نحو البحر (ما بين ٢٠ - ٣٠ درجة) وهو

يختلف تمامًا من حيث الموضع والشكل عما يعرف بمدرج الإرساب البحرى والذى يلى مـدرج النحت البحـرى باتجاه البـحر والذى يخـتفى هنا بدوره بسـبب زيادة الأعماق نسـبيًا أمام رصيف نحت الأمـواج الذى يطل على أعماق كبيـرة بواجهة منحدره (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٤، ص١٩٦ - ١٩٧).

وهناك جروف ساحلية أخرى فى مصر مثل جروف السلسلة الساحلية بمنطقة مرسى مطروح والتى تطل على البحـر مباشرة وخاصة عند منطقة الـطابية القديمة حيث تتميز هذه الجروف بشدة تقطعهـا والضيق الواضح لرصيف الشاطئ أمامها. كذلك الجـروف النارية والمتحـولة على الساحل الشرقى والـشمال الشـرقى لجزيرة شدوان وجروف ساحل خليج العقبة وغيرها الكثير.

الأرصفة الشاطئية Shore Platforms :

تمتـد عادة أمـام الجروف السـاحلية منحـدرة بشكل عام وببطء واضـح تجاه البحـر، وقد تطورت هذه الأرصـفة واتسـعت مع تراجع الجروف، كـما أنهـا قد تشكلت بفعل الأمواج والعمليـات البحرية الأخرى وتمتد من علامة المد العالى عند قاعدة الجـرف حتى مستـوى أقل قليلاً من منسوب الجزر. وعندمـا تكون صخور الساحل مـتجانسـة ليثولوجـيا وبنيويًا فـإن ذلك يعمل كـثيرًا على سـرعة تطورها واتساعها.

وغالبًا ما يظهر الشكل النموذجى لرصيف الشاطئ فى صخور الحجر الرملى والطفلى الخالية من أى صدوع أو أشكال تركيبـية وهو بطبيعة الحال من نتاج الحت الموجى ويتطلب تطوره نوعًـا من التوازن بـين مقـاومة الصـخر وقـوة الأمواج[١] المهاجـمة، وفى حالة ضـعف هذه الصخور فـإنها قد لا تظهـر فى شكل جروف بسبب تعـرضهـا للتراجع recession، فقـد تشكل جروف وأرصـفة شاطئـية فى صخور ضعيفة وذلك فى حالة البيئات الساحلية ذات الطاقة الموجية المنخفضة مثلما الحال فى سواحل مطروح وسـواحل جزر فرسان التى تتكون من صخور مـرجانية ضعيفة ولكنها تتشكل فى صورة جروف شديدة الانحدار كما رأينا.

---

(١) مع الأخذ فى الاعتبار أن مستوى ماء البحر هو الذى يحد فعل الأمواج ونوعها.

وفى البيئات الساحلية ذات الأمواج القوية تظهر عادة جروف منحدرة وأرصفة شاطئية، معنى ما سبق أنه إذا ما حدث نوع من التوازن الديناميكى على الساحل فإن النتيجة ستكون حدوث تراجع متواز للجروف وأرصفة الشاطئ.

وتظهر الأرصفة الشاطئية عادة بشكل غير منتظم فى السواحل التى تتكون من صخور متباينة فى خصائصها الليثولوجية والتركيبية وهنا قد يظهر الرصيف البحرى تبرز فوق سطحه حافات ـ فى الأجزاء الصلبة ـ وخوانق فى مواضع المكاشف الصخرية الضعيفة قامت بتشكيلها الأمواج بما تحمل من مفتتات أتت بها من وجه الجرف أو من صخور الرصيف ذاته أو مما تحمله التيارات الشاطئية[1] فى أعقاب حدوث عاصفة بحرية. وكثيرًا ما نجدها وقد تشكلت فى حفر وعائية فوق الرصيف بسبب حدوث حركات دوامية، نتيجة لعدم انتظام سطحه.

وتوضيحًا لما سبق سوف نعرض بإيجاز تقسيم Bird للأرصفة الشاطئية والذى يعد من أفضل التقسيمات وأحدثها حيث يربط هذا التقسيم بين الظاهرة والعمليات التى أوجدتها[2].

وقد قسم بيرد Bird الأرصفة الشاطئية إلى ثلاثة أنواع هى :

١ ـ أرصفة التحجير والحت الموجى :

يقصد بها الأرصفة المدية tidal platforms التى تنحدر من مستوى علامة المد العالى باتجاه البحر حتى منسوب يقع قليلاً تحت مستوى الماء عند الجزر، وهذا النوع من الأرصفة هو الذى كان يعرف قديمًا باسم رصيف نحت الأمواج wave cut platform، ويرتبط هذا النوع من الأرصفة بالعوامل التى تؤثر بدورها على عمليتى الاحتجار والحت الموجى مثل الطاقة المرتفعة للأمواج التى تسهل من عملية الاحتجار وتوفر كميات من المفتتات اللازمة لعملية الحت الموجى وهو يعكس بذلك العلاقة بين قوة الأمواج Fw ودرجة مقاومة صخور الشاطئ Fr حيث تتأثر

(٢١) سوف تدرس هذه الملامح التفصيلية فيما بعد.

(٢) لا يعنى ذلك أنه لا توجد أرصفة أخرى، حيث إنه إذا ما تداخلت العمليات التى تتكون منها أرصفة الشاطئ ينتج عن ذلك أشكالاً ساحلية معقدة يصعب تصنيفها وخاصة مع تعقد ظروف البيئة وتباين خصائص الصخور.

الأخيـرة بالتجوية وآثار الضـعف الصخرى،ويناظر بذلك رصـيف الشاطئ A عند (Sunamura, 1992). وتمتد هذه الأرصـفة على طول السواحل بالعروض المعـتدلة ذات الأمواج القـوية،وقد تظهر بالسواحل المدارية رغم ضـعف الأمواج وذلك فى حالة تكونها من صخور ضعيفـة تكثر بها الفواصل والشقوق وهى تزداد اتساعًا مع زيادة معدلات تراجع الجرف[1].

إلى جانب الأمواج القـوية يلعب الفارق المدى المتسع tidal range دورة فى تشكيل هذه الأرصفة حيث وجدت علاقة بين الأمـواج القوية ومعدل ارتفاع الحافة الداخلية inner edge لرصيف الشاطئ والتى أطلق عليها wentorth تعبير «ramp». كما أكد Threnhiale, 1978 وجود عـلاقة طردية بين انـحدار الرصيـف والفارق المدى.

وجدير بالذكـر أنه قد تظهـر بعض الملامح الأرضية الدقـيقـة وذلك بسبب اختـلاف أنواع الصخـور المكونة له بجانب وجـود اختلافـات محليـة فى فعـالية العمليات المؤثرة عليه.

ومن هذه الملامح قنوات مـائية تقتـفى أثر خطوط الضعف التـركيبـية والتى تكون مجالاً يـسيرًا لعمليات الاحـتجار الموجى والارتداد الموجى المسلح بالمفـتتات والشظايا الصخرية التى تساعد على إظهار مثل هذه الملامح. وإذا ما كان الرصيف مـكون من صـخـور ضـعيـفـة فقد تتشكل فوقه مسارب شبه متوازنة semi paralel rills تتميز بضحولتها وتحرك المياه خلالها.

٢ ـ الأرصفة الشاطئية الناتجة عن التجوية المائية :

يظهر هذا النوع من الأرصـفة نتيـجة للتجـوية المائية على صخـور الشاطئ ولذلك فهى دائمًا ما تقع عند منسوب أعلى من مستوى التشبع الدائم (عند علامة المد المرتفع) حيث يتعاقب عليهـا البلل والجفاف، كذلك تلعب الأمواج دورها فى تحديد المـستوى المؤثـر على هذا النمط من الأرصفـة. ويؤثر على تكوينهـا عوامل أخرى متمثلة فى مسامية الصخور ونفـاذيتها ودرجة ميل طبقاتها حيث إن الصخور

---

(١) وعرض الرصيف يمثل فى الواقع المسافـة الأفقية بين قاعدة الجرف القارئ وقمة الجـرف البحرى (واجهة الرصيف جهة البحر).

المنفذة الطباقية المائلة ميلاً خفيفًا تجـاه البحر وكذلك ارتفاع طاقة التبخر وسيادة نمط المد والجزر اليومى والمختلط كلها تساعـد على تعرض المنطقـة للجفاف لفترة طويلة نسبـيا خلال اليـوم، إلى جانب أن الحرارة المرتفـعة تعمل على زيادة أثر التـجوية الكيماوية. فقد أظهرت دراسة (Tricart, 1959) للسواحل المدارية أثر التجوية بفعل الرذاذ الملحى salt spray على تشكيل هذه الأرصفة.

ومن السـواحل التى تمتد أمـامهـا مثل هذه الأرصـفة سواحل جـزر هاواى وسواحل السنغـال وصقلية وبعض سـواحل كاليفـورنيا السفـلى وبعض قطاعات ساحل مصر الشمالى وساحل البحر الأحمر وخليج السويس.

ويمكننا تقسيم هذا النوع من الأرصفة إلى قسمين ثانويين:

الأول منها - يتمثل فى الأرصفة التى نـتجت بشكل مباشر عن تراجع جرف ساحلى بسبب تعـرضه للتقويض السفلى (بفـعل التجوية) ويتميـز بانحداره الهين ويشبه فى كثـير من الجوانب رصيف الاحتجار الموجى، تحيط به جـروف منخفضة كما يتضح ذلك من الصورة السابقة رقم (٢٨) والتى تظهر رصيفًا نتج عن التجوية والإذابة يطوق جروفًا منخفضة بجزر فرسان (الساحل الجنوبى).

وثانيهـما - يتـمثل فى أرصـفة نتجت عـن تعاقب البلل والجـفاف وهى فى حقيقة الأمر النتاج الحقيقى للتجوية المائية وتتميز بأفقيتها الواضحة. ونظرًا لحدوث عملية التـجوية عند مستويات مـختلفة فقد يظهر سـطحه غير مستـو بسبب تتابع سلسلة من الحافات المنخفضة شبه المتوازنة.

٣ - الأرصفة الشاطئية الناتجة عن الإذابة والنحت البيولوجى :

يطلق عليها Bird أرصفـة الجزر، وعادة ما تتـطور فى سواحل مكونة ،من صخـور جيرية كـثيبـية بلايستـوسينية مـثل سواحل مطروح فى مصـر،ويبدو من خصـائصها الجـيومورفولوجـية أنها قـد ارتبطت فى تطورها بشكل عام بعـمليات الإذابة والنحت البيـولـوجى للصخـور الجيـريـة فى بيئـة ساحليـة تتميـز بأمواجها المنخفضة وبالفارق المدى الضيق وغالبًا ما يعلو سطحها منسوب الماء عند الجزر low tide بسنتيـمترات قليلة. وبشكل عام نجـد أن الفارق المدى tidal range على هذه

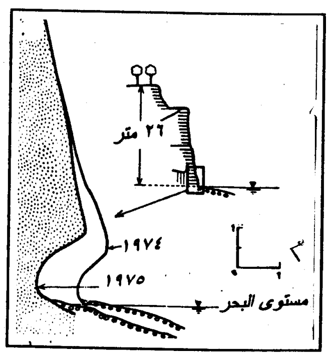
الأرصفة له دور كبير فى التأثير على النشاطات المرتبطة بالتجوية والنحت البيولوجى رغم أن المد فى حد ذاته ليس له أى قوة نحت تذكر لا على سطح الرصيف أو على وجه الجرف (Sunamura, T, p113).

والواقع أن المسطحات المرجانية (الأطر المرجانية) fringing reefs الناتجة عن الترسيب المرجانى والتى تكثر بها آثار التجوية والنحت البيولوجى تعد ضمن هذه الأرصفة الشاطئية تماثلها تلك الأرصفة الشاطئية التى ساعدت فى تكونها الطحالب algae من خلال ترسيب القشور الجيرية الدقيقة فوق سطحها (راجع المؤلف بالتفصيل، ١٩٩١، ص١٣١ - ١٣٢).

بعض الملامح الجيومورفولوجية المرتبطة بالساحل الجرفى :

١ ـ فجوات الأمواج Wave Notches :

تعد فجوات الأمواج دليلاً واضحًا على نحت الجرف وهى عبارة عن فتحة ممتدة امتدادًا عرضيا latteraly extendeng holllw عند قاعدة الجرف كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٠١) عادة ما يكون عرضها أكبر بكثير من عمقها ويطلق على الفتحة الضحلة منها a nip (هيجنزه Higgins. 1980) أما الفجوة شبه الأفقية فيطلق عليها ونتورث wentorth، شرفة visor والأخيرة سائدة على طول سواحل جزر فرسان بالبحر الأحمر راجع صورة رقم (٢٧) وغيرها من السواحل الجيرية بالمناطق المدارية. ويوضح الشكل رقم (١٠١) فجوة أمواج notche ممتدة بين قاعدة الجرف وسطح الرصيف الممتد أمامه وهى أعلى قليلاً من منطقة الالتقاء بين الجرف والرصيف الممتد platform junctions.



شكل رقم (١٠١)

وقد تأكد للكثيرين أن مـواد الشاطئ تلعب دورا هاما فى تشكيلها وتطورها والذى يقدر معدل نموها الأفقى سنويا بـ ٥,٧سم وفقًا لقياسات Sunamura والتى اعتمد فيها على قوة صخور الجـرف ومستوى طاقة الأمواج التى تصل حتى قاعدة الجرف وكمية المواد التى تستخدمها الأمواج فى عمليات النحت والتى تتحرك تقدمًا وتراجعًـا بشكل مستمـر فى منطقة الاتصال بين الجـرف والرصيف، ولا شك أن عمليات التـجوية والنحت الموجى والنحت البيـولوجى تؤدى إلى تشكيل مثل هذه الظاهرة وتطورها كمـا اتضح ذلك من خلال دراسة المؤلف لها علـى ساحل جزر فرسان وبعض مناطق جروف عجيبة بمرسى مطروح.

٢ ـ الكهوف البحرية Sea Caves :

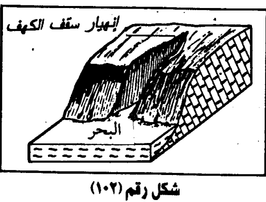
تعد من الملامح التحاتية التى تتميز بمحليتها الشديدة وهى عبارة عن حفر تم نحتهـا فى الجرف مع تغلغل penetration داخل صخور الجـرف أطول بكثير من أقطار فتحاتها عند المداخل.

وقد لعب الضعف الجيولوجى دوره فى تكوينهـا مثل الطبقية stratification والفواصل والصـدوع إلى جانب عمليات التـعرية البحرية. كـما أن شكل الكهف يعتـمد فى جزء كبـير على ميل سطوح الطبقـية واتجاه الفاصل الصـخرى وسطح الصدع (Guilcher, 1958).

وقد درس هتـشنسون Hutchinson, 1981 تكوين وانهيار الـكهوف بساحل هولدرنس Holderness بإنجلترا وقد ظهر من دراستـه لأحد الكهوف بهذا الساحل أثر نحت الأمواج للمواد الجرفيـة المجواة على طول الفواصل والصدوع فى تشكيل فتحـات صغيرة على طول مناطق الضـعف مع نمو الأخيرة بفعل عـمليات الضغط الهيدروليكى للأمواج والنحت الموجى مما يؤدى إلى زيادة تركيزها وتوسيع تعميق هذه الفتحات والتى ترتبط بالتالى بعلاقة طردية مع قوة العمل الهيدروليكى؛ بمعنى كلما زادت تعمقًا فى الصخر زاد أثر الفعل الهيدروليكى فى التأثير أكثر عليها وهى هنا تكون بمثابة عملية تغذية استـرجاعية موجبة positive feedbak- process يزداد خلالها الكهف تطورًا ونموًا أكثر سرعة من معدلات تطوره فى نشأته الأولى، ومن ثم فإنه يـتوقف عن النمـو مع حدوث توازن بين قـوة الأمواج ومقـاومة صـخور الجرف لها (Sunamura, T, p185).

وعـمومًا ، فـإن الشـكل المثالى للكهف البـحرى يتمـثل فى نفـق أسطوانـى cylindrical tunnel، يمتـد داخل صخـور الجرف على طول خط ضـعف، وتعد الفتحة المواجهة للبحر أوسع مـا فى الكهف حيث تضيق بالاتجاه نحو الداخل كما يتـميـز قـاع الكهــف بشكـل عـام بانحـداره الهـين تجـاه البحـــر مع ظهـور أثـر عمليات الصقل الحتى للأمواج scouring على جوانب الكهف الداخلية مع تراكم مفـتتـات عند حضـيضهـا. كمـا يأخذ القطاع العـرضى الداخلى للكهف الشكل البيضاوى oval cross section. كمـا يظهر منفس blowhole فى الجزء الأضعف من سقف الكهف نتج أساسًا بفعل الضغط الهيدروليكى الذى تقوم به الأمواج عند دخولهـا الكهف مع الأخذ فى اعـتبار أن المد البـحرى والجشنات البـحرية storm surges تتحكم فى درجة تأثير الأمواج على إبراز مثل هذه الملامح داخل الكهف. وقد يؤدى اتساع الفتحة العلوية (المنفس) وزيادة حـجمها إلى انهيار سقف الكهف حيث يتحول فى هذه الحالة إلى شرم بحرى ضيق يحده عادة جوانب مرتفعة شكل رقم (١٠٢) شديدة الانحدار نحو قاعـه»وقد تطورت فى الواقع الكثير من الشروم الضيقة على ساحل البحر الأحمر وسواحل خليجيه بهذه الكيفية(*). كما قد يكون انهيار أسقفها سببا فى تكون قوس بحرى أعلى الفتحة المواجهة للبحر.

٣ ـ الأقواس والمسلات البحرية Sea Archs and stacks :



شكل رقم (١٠٢)

تنتج عن تطور كهفين على جانبى رأس أرضية headland متـعمـقة فى مـياه البـحر الشاطئية بحيث يؤدى اتـصالها فى نهاية الأمر إلى تكون ما يعـرف بالقوس البـحرى والذى عندما ينهـار سقفه تبدو نهـايته (طرف الرأس فى هذه الحـالة فى شـكل جـزيرة صـخـرية صغيرة جـدًا بارزة فوق سطح رصيف الشاطئ تعرف بالمسلة البحرية والتى قد تنتهى وجودها مع استمرار تلاطم الأمواج.

(*) مع الأخذ فى الاعتبار أن الشروم البحرية تختلف فى نشأتهـا واشكالها وابعادها الجيومورفولوجية، فمنها الشرم ذو الأصل الصدعى حيث تكون فى موضع على ساحل يقطعه خط صدع متعامد عليه ومنها ما هو نتاج نحت نهرى عند وصول الأودية إلى البحر فى مصبات تشبه الريا وهكذا.

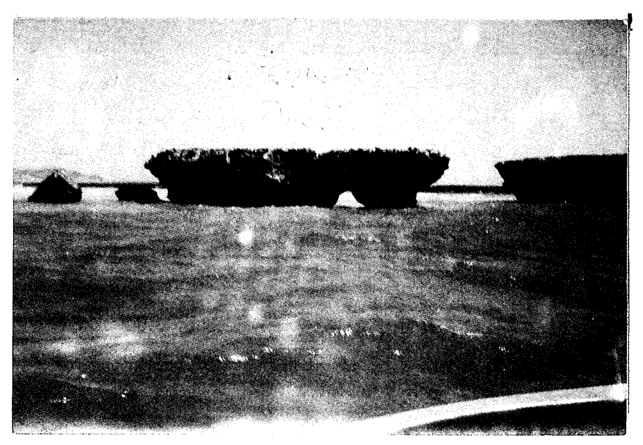
وعادة ما تتميز مواضع الأقواس بتخير نقط الضعف الجيولوجى بالصخر التى تركز عليها الأمواج نشاطها الحتى والهيدروليكى راجع الشكل رقم (٩٨).

وفى بعض الشواطئ المكونة من صخور كثيرة التشقق والتفصل وخاصة الفواصل الرأسية تؤدى عمليات النحت الموجى إلى تآكلها بسهولة مما يؤدى بالتالى إلى تراجعها تاركة أمامها أعمدة صخرية رأسية تشبه المداخن تعرف بالمداخن الصخرية chimney rocks or sea stack أو قوائم البحر وهى تختلف فى خصائصها وأبعادها عن المسلات أو الجزيرات الصخرية التى انفصلت بالكيفية سابقة الذكر.

وتوضح الصورة التالية رقم (٢٩) امتداد حاجز مرجانى coral reef barrier مرتفع فوق رصيف الإذابة أمام ساحل فرسان وقد تكونت به أقواس بحرية انهار سقف أحدها وانفصل عن الحاجز (يمين الصورة) ويبرز منها بشكل واضح أحد الأقواس البحرية مع انفصال كتلة صخرية على يسار الصورة هى التى تعرف بالمسلة البحرية، يلاحظ كذلك كتلة أخرى بينها وبين الحاجز تمثل بقايا السقف المنهار.

وفى منطقة ساحل مرسى مطروح ظهر العديد من هذه الأشكال المرتبطة بالجروف مثل الكهف البحرى الذى يظهر على ساحل كليوباترا الجرفى. كما يظهر بعض الأقواس البحرية على الساحل الصخرى الجنوبى لبحيرة مرسى مطروح الشرقية والذى يتأثر بوضوح بالنحت الموجى. وقد قام المؤلف بدراسة وقياس لقوس بحرى بهذا الشاطئ يبلغ ارتفاع تسعة أمتار فوق مستوى سطح الماء عند الجزر وتبدو صخور القوس شديدة التقطع، كما لاحظ المؤلف أثناء دراسته للمنطقة عدم امتداد رصيف أمام الجرف الذى يظهر به هذا القوس والذى ينحدر بشدة نحو أعماق بعيدة نسبيًا، وهذا بالتالى قد ساعد كثيرًا على وصول الأمواج بكامل طاقتها إلى وجه الجرف.

فتظهر الكثير من المسلات البحرية المثالية على شاطئ الغرام «الحتى بمرسى مطروح ومنها المسلة الشهيرة بمسلة الغرام التى ترتفع بأكثر من ستة أمتار فوق سطح الرصيف البحرى وقد وضح على جوانبها أثر التيار المائى والأمواج فى ما يميزها من ملامح التطبق الكاذب false bedding وبعض الحفر، إلى جانب أنها تنحدر



صورة رقم (٢٩)

مباشـرة نحو المياه البحرية العـميقة مما زاد من أثر نحت الأمواج لهـا وخاصة عند قاعدتها (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٤، ص١١٢).

٤ ـ الرءوس الأرضية والجزر الشاطئية headlands and off shore Islands :

تظهر الأجـزاء من التكوينات الصخرية السـاحلية الأكثـر مقاومة لعـمليات التعـرية فى شكل نتوءات أو رءوس يابسـة ممتدة فى ميـاه البحـر، وقد تكون هذه الرءوس ذات سواحـل جرفيـة مرتفـعة تشكل على جـوانبهـا الكثيـر من الملامح التفصيليـة مثل الكهوف والأقواس وغيرها، أو قد تكون عـبارة عن امتداد أرضى منخفض مثل رأس جمسة و هى عبارة عن شـبه جزيرة مزدوجة مكونة من جمسة الصغرى وجمسة الكبرى يفصل بينهما خانق مائى وتنتهى رأس جمسة بتل ارتفاعه ٧٨ مترًا.

ومن الرءوس الأرضية بساحل البحر الأحـمر فى مصر رأس أبو سومة وهى عبـارة عن نتوء ممتد فى البـحر يرتفع منسـوبها عنه بنحو ٢٥ مـترًا يمتـد جزؤها

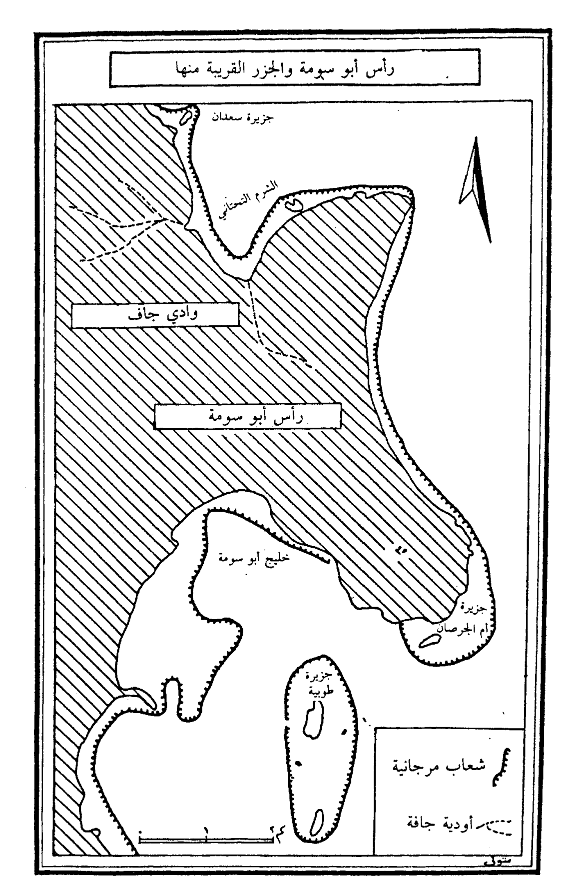
الشمـالى نحو الشمـال الشرقى لمسافـة كيلو متريـن وجزؤها الجنوبى إلى الجنوب الشرقى لمسافة ثلاثة كيلومترات تحيط بهـا الشعاب المرجانية إحاطة تامة مع انفصال بعض الجزيرات الصخـرية منها مثلا جزيرة أم الجرصـان وجزيرة رمائى شكل رقم (١٠٣)، وتعد رأس يناس من أكبر الرءوس الأرضية مساحة بساحل البحر الأحمر فى مصر وأكثرها توغلاً فى البحر وتمثل رأس بناس النهاية أو الطرف الشرقى لشبه الجزيرة والتى تمتد فى البحر لمسافة ٣٥ كـيلومتر باتجاه الجنوب الشرقى وتظهر على طول سواحلها العديد من الأشكال الساحلية، وقد اقتطعت منها جزيرة مكور التى تقع الآن على مسـافة ستة كيلومـترات منها (للاستـزادة راجع للمؤلف، ١٩٩٠، ص٩٩ - ١٠٠).

وجدير بالذكر أن الكثيـر من الجزر الشاطئية بالبحر الأحمـر قد كانت جزءًا من الساحل انفـصلت عنه بفعل عـمليات النحت البـحرية أو ربما بفعل حـركات تصدع ومن ينظر بدقة إلى سـاحل البحر الأحمر فى مصر سـيجد أنه ما من رأس أرضية إلا وتقع أمامها إحدى الجزيرات الشاطئية.

٥ ـ التومبولو Tompolo :

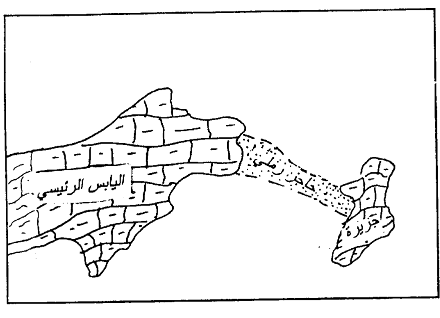
ظاهرة سـاحلية مـرتبطة بالنحت والإرساب فـهى عبـارة عن إحـدى الجزر المقتطعة من الساحل والتى ارتبطت به فى مرحلة لاحقة بواسطة ألسنة رسوبية وهى كلمة إيطالية تعنى مـا سبق شرحه حيث تتطور كثيـرًا على السواحل الإيطالية وقد وصف جونـسون أشكالاً مماثلة على سـاحل نيو إنجلندا شـمالى شـرقى الولايات المتحدة. ويظهـر من الشكل التالى رقم (١٠٤) برزخ رملى sandy isthmus يربط بين جزيرة بارنجوى Barren Joey باليابس الرئيسى على ساحل نيوساوث ويلز.

وتتمثل الظروف الجيومورفولوجية المثالية لتكون «التومبولو» فى وجود منطقة كثبان جليدية drumlines غارقة تكثر بها الجزر مع توفر كميات من الرواسب التى تنقلها الأمواج وترسبـها فى صورة حافات تربط الكثبان بعضـها ببعض ومن أمثلة هذه الأنواع من التومـبولو ما يوجد على سـاحل نوفا سكوتشيا شـرقى كندا قرب هاليفاكس. وتوجد على ساحل شبه جزيرة إيطاليا الغربى جزيرة ارتبطت بالساحل الأصلى عن طريق حاجـزين من التومبولو يحـصران بينهما بحـيرة طولية lagoon تعرف بجزيرة مونت أرجنتالو التى يتوسطها جبل صخرى ارتفاعه ٥٣٠ مترًا.


رأس أبو سومة والجزر القريبة منها
جزيرة سعدان
الشرم التحتاني
وادي جاف
رأس أبو سومة
خليج أبو سومة
جزيرة
أم الجرصان
جزيرة
طوبية
شعاب مرجانية
أودية جافة
كم ٢
١

شكل رقم (١٠٣)

٦ ـ الحافات الصخرية المنخفضة Ramparts[*] :



شكل رقم (١٠٤)

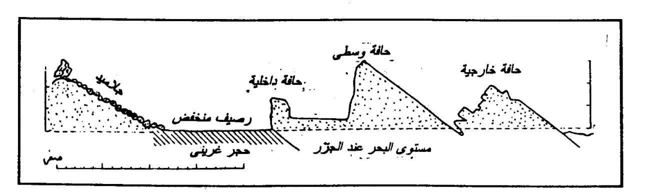
غالـبًا ما تظـهر حافـات ridges ترتفع على سطح الـرصـيف بنحو متـر أو أكثر فى مواضع قرب هـوامشه البـحرية. وقـد أطلق عليـهـا هذا الاسم (wentorth, 1958) فى دراسته للرصيف بجزر هاواى، كذلك لاحظ Bartrum, 1935 أشكالاً مشابهة فى سواحل نيـوزيلندا ويرجع سبب وجودها وفقًا لآرائهما إلى ابتلالها بشكل دائم بمياه البـحر من خلال رذاذ البحر ومن ثم فهى فى حماية من عمليات التجوية المائيـة (الناتجة عن تعاقب البلل والجفاف) وإن كان هذا الرأى غير مقنع فى كثير من الحالات حيث إنها كثيـرًا ما تظهر متقطعة غير مستمرة وأنها لا توجـد فى كل الأرصفـة الشاطئـية (Sunamura, T., p193) كمـا أنها لا توجد فى كل الأحوال عند الحافـة البحرية للرصيف sea edge ويرجع أنها ـ وفقًا لرأى إدواردز Edowards الذى خرج به من دراستـه لهذه الظاهرة بسواحل جنوب فكتوريا بأستـراليا ـ إلى أنها نتاج مجـموعة من الظروف تتمثل فى وجـود صخور صلبة وميل طبقات الصخور تجاه اليابس وخـصائص مورفولوجية للرصيف جعلت عمليات الحت تركز فى الأجـزاء الداخلية من الرصيف، وقد لاحظ (Gill, 1974) فى دراستـه لساحل أوتواى otuay بفكتوريا نوعـين من هذه الحافات أولهـما تلك الحافـات التى ترتبط بصـخور صلبـة كتلـية وبفواصل وصـدوع وأسطح طبقـية، وثانيهما تلك التى ترجع إلى تكوينات حـديدية شديدة الصلابة تكونت فى أعقاب الغمر الهولوسينى ferruginous induration.

(*) تعنى لغويًا متاريس.

وتتطور تلك الملامح ramparts عند الحواف البحرية لبـعض أرصفة الشاطئ الجيرية وإن كانت أقل وضوحًا عنها فى الصخور الأخرى، وربما يرجع تكونها هنا إلى ترسـيب طحلبى لقـشـور جيرية فى منطقة الـبلل الدائم على الرصيف،ويرى Suzuki وزملاؤه أن تعـاقب صخـور صلبة مع صـخور لينة قـد يؤدى إلى تكون قنوات عميقة نسبيا furrows تفصل بين حـافات بارزة وخاصة مع ميـل الطبقات ميلاً شديدًا. مثل تعـاقب صخور الحجر الطينى mudstone فوق تكوينات الطوف tuff، ومن المعروف سرعة تـأثر الحجر الطينى بتـجوية تعاقب البلل والجفاف، كما أنه أقل مقاومة لعمليات الأمواج من الطوف.

وطريقـة أخرى تفسـر نشأة الحـافات هنا تتـمثل فى زيادة مـؤقتـة فى قدرة الصخـور على مقاومـة النحت عند حافة الرصـيف البحرية مع زيادة اتسـاعه من خلال تراجع الجرف.. وعمومًا فإن هذا الملح يرتبط بالخـصائص الليثولوجية بقدر ارتباطه بفعل الأمواج. وحيثما يكون الرصـيف ضيقًا فإن الجريان المائى فوقه يكون ثنائى الحركة bidiectional، يعنى حدوث تقـدم وتراجع للأمواج فوقـه، وعندما يصبح متسـعًا فإن نمط الجـريـان يميـل ليصبح وحيـد الاتجاه unidirectional حيث لا يظهر ارتداد موجى واضح.

راجع الشكل رقـم (١٠٥) الذى يوضح هذه الظاهرة علـى سـاحل أوتواى بفكتوريا مع فارق مدى قدره ١,٤٥ متر.



شكل رقم (١٠٥)

- منحدرات رصيف الشاطئ Ramps :

عادة ما تمتد عند قدم الجرف البحرى سفوح منحدرة جهة البحر seaward dipping slopes تكون أكثر انحداراً من بقية رصيف الشاطئ. وهذه السفوح التى تمثل عنصراً مورفولوجيا مميزاً أطلق عليها كل من Trenhaile 1978, Robinson, 1977, مصطلح ramps بمعنى «منحدر» ويلاحظ وجود انقطاع فى الانحدار ما بين قدم الجرف، وتلك المنحدرات فى معظم الأحوال تتميز أسطحها بالنعومة ويبدو أثر الحت الموجى فوقها، وقد تكون نشأتها ذات أصل تركيبى حيث ترتبط بمكشف طبقى صلب ينحدر جهة البحر. وقد لاحظ Robinson فى دراسته للساحل الشمالى الشرقى ليوركشير أن المفتتات الصخرية المتبقية والمتحركة فوق سطح المنحدرات ramps تتحكم فى معدلات نموها وامتدادها وأنها تنقسم إلى ثلاثة أنواع أولها الحافات المقعرة concave ramps وتظهر مع توفر المفتتات الصخرية المتحركة وتختفى مع نقص المواد المفتتة من فوقها.

- الحفر الوعائية Pot holes :

تبدو فى شكل حفر شبه أسطوانية فوق سطح رصيف الشاطئ قد نتجت فى الأصل عن عملية طحن بواسطة الرمال grinding action والحصى والجلاميد التى تتحرك فى حركة دورانية بسبب فعل الأمواج. وبعض هذه الحفر يأخذ شكلاً غير منتظم بسبب التحام بعضها ببعض، إلى جانب أثر التباين فى صلابة الصخور التى تتكون فوقها هذه الحفر (Trenhaile, 1987, p26).

أما إذا كانت المفتتات تظهر الحفر الوعائية فى كل أنواع الصخور الصخرية التى كونتها تشبهها ليثولوجيا فإنها - أى المفتتات - تتناقص أحجام حبيباتها مع زيادة عمليات الطحن ونمو حجم الحفر الوعائية (Sunamura, T., p199). وقد يبدأ تكونها فى الأصل مع وجود حفر إذابة سابقة لها والتى قد تكون بمثابة مواضع تختزن داخلها مواد نحاتية abrasive materils.

وفى دراسة للمؤلف بمنطقة مرسى مطروح سجل عدداً من الحفر الوعائية صغيرة الحجم فوق أرصفة الشاطئ التحاتية، .وقد ظهرت داخلها مفتتات صخرية يصل بعضها إلى حجم الجلاميد. ويرى المؤلف أن بعض هذه الحفر نتجت عن

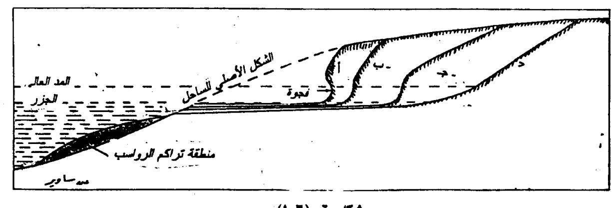
تشقق كامل للصخر بحيث تظهر كتلة صخرية واحدة تمتلئ بها الحفرة تمامًا، ومع استمرار عملية الحفر الوعائى تبدأ الحفرة فى الاتساع وتبدأ الكتلة الصخرية داخلها فى التفكك.

ـ برك الإذابة Solution Pools :

تتميز بالضحولة واستواء قيعانها وكثيراً ما تظهر فوق سطح أرصفة الشاطئ بالصخور الكلسية وتسمى أيضًا قدور صخرية pans أو أحواض إذابة، وقد تطورت هذه الحفر عن «نقر» وفتحات صغيرة لا تزيد أقطارها على عدة ملليمترات أو بضع سنتيمترات. ويرجعها (Emery 1946) إلى عمليات بيوكيماوية -biochem ical process تتميز بإذابة المواد الكلسية اللاحمة لصخور الأساس (الأديم) -bed rock بواسطة مياه البحر ثم إزالة المفتتات ميكانيكيا بفعل الأمواج والحيوانات البحرية الحفارة. وقد تتسع البرك اتساعًا جانبيًا فى كل الاتجاهات متخذة شكلاً قريبًا من الاستدارة يتميز بجوانبها المنحدرة بشدة نحو قاعها الصخرى، وبعض هذه الحفر ذات جوانب مرتفعة. وقد درس المؤلف مثل هذا الملمح فى بعض المناطق بالسواحل المصرية منها تلك البرك الملحية التى درس أبعادها وخصائصها بساحل الطور فى سيناء وتبدو هنا فى شكل بقع محدودة المساحة تتراوح أعماقها ما بين خمسة إلى عشرين سنتيمترا وعادة ما تكون ممتلئة بالمياه بشكل دائم، وتظهر فى قيعانها الصخرية المتماسكة تكوينات عضوية متحللة تختلط بتكوينات طينية شديدة التماسك وتعيش بها بعض الأحياء البحرية، ومن خلال قياس أبعادها وجد أنها لا تأخذ شكلاً معينًا وإن كانت أقرب إلى الشكل البيضاوى مع إحاطتها بجوانب أعلى قليلاً من مناسب قيعانها. تظهر كذلك فى السواحل الجيرية حفر وتكهفات صغيرة قد تظهر فى منطقة رذاذ البحر فى العروض الباردة.

التطور الجيومورفولوجى للسواحل الجرفية :

ـ يمكننا من الشكل التالى رقم (١٠٦) أن نتبين كيفية تكون الجرف تبعًا لكل ما ذكر سابقًا وما تعرض له من تطور خلال مراحل محددة يمكننا أن نتفهمها مما يلى:



شكل رقم (١٠٦)

١ ـ ظهـور الانحـدار الأصلى (الأولى) initial slope للسـاحل فى شكل معتدل كما يظهر ذلك من الخط المتقطع بالشكل السابق.

٢ ـ تكون فجوة الأمواج notch مع بداية ظهور الجرف بشكل واضح وزيادة عمليات التقويض والنحر السفلى التى تقوم بهـا الأمواج والعمليات البحرية سابقة الذكر، ويظهر فى هذه المرحلة رصيف الشاطئ الناتج عن تراجع الجرف أ.

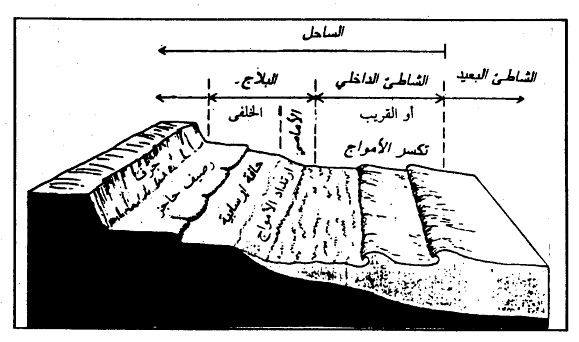
٣ ـ يظهر الجرف أقل انحداراً بسبب قـلة الأمواج الواصلة إلى أقدامه حيث يتسع فى هذه المرحلة رصـيف نحت الأمواج مما يؤدى بالأمواج للتكسـر بعيداً عن أقدام السفح الجرفى وخاصـة مع امتصاص جزء كبير من طاقـتها فى منطقة تراكم الرواسب الناتجة عن نحت الجرف (رصيف الإرساب).

٤ ـ تؤدى عملـية التجـوية والتعـرية القارية إلى تخـفيض منسـوب الجرف البحـرى كما يضـعف أثر الأمواج البحـرية كعامل نحت وتقـويض، وذلك بسبب ضحولة الميـاه أمام السـاحل فى منطقة الشـاطئ القريب near shore نتيجة لعملية الترسيب deposition النشطة بحـيث يصـبح المظهـر العـام فى شكل بلاج رملى بظاهرة جـهة اليـابس جرف خـفيف الانحـدار، وهكذا ينتـهى الأمر بالسـواحل الصخرية إلى التخفيض والتحويل إلى سـواحل رسوبية منخفضة وهى الجزء الثانى من هذا الفصل.

السواحل المنخفضة والأشكال الأرضية المرتبطة بها

مقدمة :

قبل أن ندرس الأشكال الأرضية المرتبطة بالسواحل المنخفضة والتى فى أغلبها ظاهرات تنتج عن عمليات الترسيب يجب علينا أن نتفهم ما تعنيه بعض المصطلحات التى ترتبط بقطاع الشاطئ والتى يبرزها الشكل التالى رقم (١٠٧).



شكل رقم (١٠٧)

فنبدأ بكلمة ساحل coast وتعنى بشكل عام المنطقة من اليابس المطلة على بحر أو محيط وهى بطبيعة الحال تتباين فى اتساعها وملامحها تبعًا لظروف نشأتها وخصائصها الجيومورفولوجية ولها تقسيمات عديدة سوف نذكرها تفصيلاً فى آخر هذا الفصل. أما كلمة شاطئ shore فتعنى المنطقة السهلية المحصورة بين حضيض أقرب جرف للساحل وسيف البحر، وينقسم الشاطئ بدوره إلى وحدات لكل وحدة منها موضعها وحدودها الواضحة منها ما هو مكشوف ويبعد تمامًا عن مياه البحر ومنها ما هو معرض للغمر البحرى بشكل دورى ومنه ما هو مغمور بشكل دائم.

ونبدأ بالشاطئ الخلفى back shore ويقصد به النطاق من الساحل المحصور بين خط الساحل coast line (الخط الممتد عند حضيض أقرب جرف للبحر) وخط

يمتد عند أقصى حد تصل إليه الأمواج (أو حد علامة المد الاستثنائى) وتظهر هنا أشكال مورفولوجية أهمها ما يرتبط بعمليات ترسيب الرمال من كثبان ونباك وحافات رملية وغيرها. أما الشاطئ الأمامى fore shore فهو النطاق من الشاطئ الذى يلى الشاطئ الخلفى باتجاه البحر وينحصر بين علامتى المرتفع والجزر، وكلتا العلامتين تحددان خط الشاطئ shore line فى تحركه اليومى أو النصف يومى على طول الشاطئ ما بين مد وجزر، ويتميز هذا النطاق من الشاطئ بظهور العديد من الأشكال الأرضية التى سوف نشرحها بالتفصيل فيما بعد.

بالنسبة لمفهوم الشاطئ القريب near shore فيقصد به النطاق من الشاطئ المغمور بشكل دائم بمياه البحر فيما بعد خط الشاطئ يتميز بضحولية وفوق كل ذلك يمثل موضعًا لكل الديناميكيات والعمليات المائية التى تقوم بها الأمواج والتيارات الشاطئية بأنواعها المختلفة، ومن ثم فهو نطاق مساحى غير ثابت يرتبط فى امتداده بالعمليات أكثر من ارتباطه بظاهرات جيومورفولوجية، فتارة يتسع وتارة أخرى يضيق حسب فعالية العمليات البحرية التى تتم أمام خط الشاطئ، وهذا بطبيعة الحال يقودنا إلى النطاق المظاهر له تجاه البحر وهو ما يعرف بالشاطئ البعيد أو الشاطئ الخارجى off shore والذى عادة ما يفصله عن الشاطئ من جهة البحر.

والحقيقة أنه كان لابد من التوضيح السابق لبعض ما تعنيه النطاقات الشاطئية حتى يتسنى للدارس أو القارئ أن يلم بخصائص الشاطئ ككل من خلال ما يميز كل وحدة من وحداته من أشكال وملامح تشكلت بفعل عمليات محددة فى كل منها.

وفيما يلى دراسة تفصيلية لأهم الملامح والأشكال الأرضية بالشواطئ البحرية وما يرتبط بها من عمليات وخصائص.

أ- البلاج Beach :

يقصد بالبلاج المنطقة المنخفضة خفيفة الانحدار والتى تتكون من رواسب رملية وحصوية فيما بين خط المد الربيعى وأقصى نقطة تصل إليها أمواج العواصف البحرية storm waves.

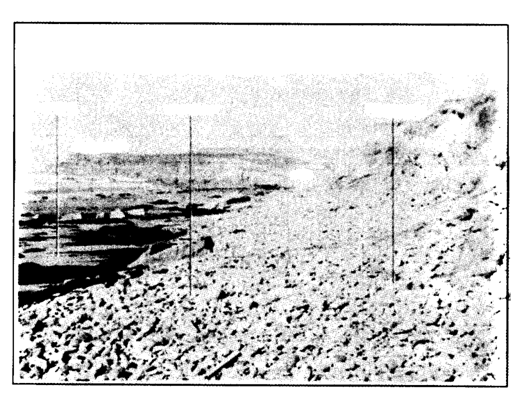
ويتمثل الشكل النموذجى للبلاج فى نطاق شاطئ مقعر تقعرًا خفيفًا gently concave، حيث يبدو خط الشاطئ منحنيًا انحناءات خفيفة فى مواجهة البحر كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٠٨) والصورة رقم (٣٠) تحده الكثبان الرملية الساحلية جهة اليابس وتتدرج رواسبه مصنفة من الأخشن إلى الأنعم باتجاه البحر فيما يشبه تصنيف الرواسب فى الدالات النهرية، فيبدأ قرب الشاطئ الخلفى بنطاق من الرواسب الحصوية يليه باتجاه البحر رواسب رملية تختلط بها مفتتات أصداف وبعض الحصى مع ظهور نباتات بحرية قرب منطقة الجزر (Monkhouse, F.J, 1970).

شكل رقم (١٠٨)

وقد كان يعتقد فيما مضى بأن البلاجات قد تشكلت بفعل تيارات بحرية تقوم باكتساح الرواسب فى حركة موازية لخط الشاطئ، ولكن أثبتت الدراسات الحديثة أن الأمواج تعد العامل الرئيسى الذى يقوم بتشكيلها وذلك بفعل ما يتولد عن قدومها باتجاه خط الشاطئ من تيارات تعمل بدورها على تحريك الرواسب تقدمًا وتقهقرًا أمام الشاطئ مع الأخذ فى الاعتبار أن تلك الأمواج ليس لها دور يذكر فى تشكيل الملامح والأشكال الأرضية الإرسابية التى تظهر عند منسوب يعلو مستوى المد المرتفع.

وقد أظهرت التجارب التى قام بها Jennings فى صهاريج الأمواج أن انحناءات البلاجات الرملية تنتج عن فعل الأمواج دون مساعدة أى عامل آخر. وفى ذلك يتجاهل فى الحقيقة دور العمليات الأخرى، فالمد والجزر يلعب دوره فى بناء البلاجات حيث إنه أثناء المد عندما يكون البلاج جافًا فإن الماء يتجه للتشرب فى رواسب البلاج من الأمواج المتكسرة مما يؤدى إلى نقص كمية المياه المرتدة backwash وتسود عمليات ترسيب، أما فى حالة الجزر فيكون محتوى رمال البلاج من الماء كبيرًا وتقل نسبة المياه المتشربة ـ أثناء الجزر ـ فى رمال البلاج والناتجة

عن تكسـر الأمـواج ومن ثم يكون الارتداء الموجى فى هذه الحـالة أقـوى حـيث تتحرك معه الرمال باتجاه البحر .



صورة رقم (٣٠)

بالنسـبة لكيفـية قـيام الأمواج بتكويـن وتشكيل البلاجات يـرى البعض أن اقـتراب الأمـواج من البلاج على شـاطئ غيـر منتظم irregular shore يؤدى إلى انحراف قممها refraction of the wave-crests بدرجة تجعل جبهاتها تلتف موازية لخط الشاطئ ومثل هذا الانحـراف للقمم الموجية يسبب حـدوث تشتت للطاقة مع تولد تيـار متحـرك باتجاه مـركز الخليج (خـط الشاطئ المنحنى) تسـبب عنه نقص الطاقة وحدوث ترسيب على البلاج (Morisaw, M. 1976, p193) .

وتتأثر البـلاجات المكشوفـة للأمواج، باتجـاه وقوة وتكرار الرياح الشاطئـية المحلية من جانب وباختلاف المسافة التى تتحرك فوقها الأمواج من جانب آخر إلى جانب تأثرها بدرجة انحراف الأمواج المقتربة كما أوضحنا آنفًا .

أثر الرياح المحلية الشاطئية على هذه الشواطئ - وفى فترات هدوء البحر تتكسر الأمواج البانية فى أنماط تتمشى مع الخطوط المنحنية للشاطئ، وبشكل عام يتمثل أثر الأمواج المحيطية فى تعديل هيئة الشاطئ وتنظيم خطوطه الناتجة عن الغمر البحرى وذلك فى شكل سلسلة من البلاجات الرملية المنحنية بين الرءوس الأرضية حيث يرتبط شكل البلاج ارتباطًا قويا بنوع الأمواج القادمة إليه[1].

وكثيرًا ما يتعدل قطاع الشاطئ الرملى بسبب التذبذبات التى يتعرض لها منسوب مياه البحر حيث يؤدى الغمر البحرى إلى تراجع الشاطئ ، بينما يؤدى انحساره إلى بروز عوامل أخرى تؤثر فى هيئة الشاطئ مثل خصائص رواسب الشاطئ وعمليات النحت والإرساب البحرية وغيرها.

وجدير بالذكر أن رواسب البلاج التى قد تزيلها الأمواج المدمرة قد يعاد ترسيبها فى شكل حافات bars رسوبية فى منطقة الشاطئ القريب أثناء الجزر حيث تتراكم الرمال فى منطقة تكسر الأمواج surfzone نتيجة لتقابل الرمال المنقولة باتجاه الشاطئ بتلك الرمال التى نحتت من البلاج والتى تنقلها التيارات الرجعية باتجاه البحر وذلك أثناء عملية الارتداد الموجى back wash (للاستزادة راجع للمؤلف، ١٩٩١).

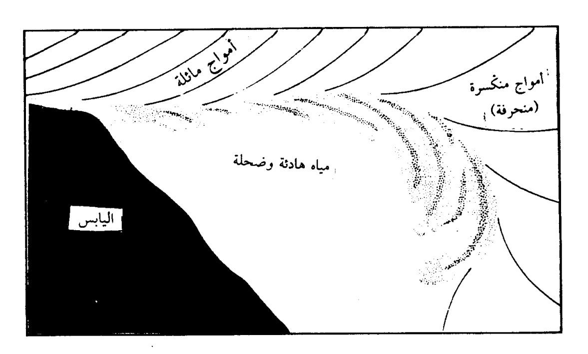
ب - الألسنة البحرية Spits :

يمثل أحد الأشكال الساحلية الناتجة عن الإرساب ويبدو فى شكل إرساب رملى وحصوى متصل باليابس من أحد طرفيه، بينما يمتد الطرف الآخر باتجاه البحر عادة ما تكون نهايته منحنيه فى شكل خطاف hook أو أكثر يتجه نحو اليابس. وقد كان يعتقد فى الماضى بأنها من نتاج التيارات الشاطئية littoral currents ولكن أثبتت الدراسات الحديثة أنها تنمو فى اتجاه رئيسى يتمشى مع اتجاه

---

(١) فلو كانت من الأنواع المحيطية ذات فترات التردد الكبيرة يؤدى قدومها إلى المساعدة فى تقدم مياه الأمواج جهة البلاج swash وبنائه على العكس من الأمواج المدمرة.

حركة الرواسب على طول الشاطئ littoral drift والتى بدورها تنشأ بفعل الأمواج المقتربة من خط الشاطئ. كما أن الألسنة تتأثر بشكل مباشر وقوى بفعل هذه الأمواج وتتعرض أطرافها للانحناء، إما بواسطة أنواع من الأمواج التى تأتى من اتجاهات مختلفة كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (١٠٩) أو بسبب انحراف للأمواج المقتربة من أطرافها، وطبقًا لآراء العديد من العلماء فإن الألسنة المعكوفة (المنحنية) ترتبط أساسًا بحالتين هما:



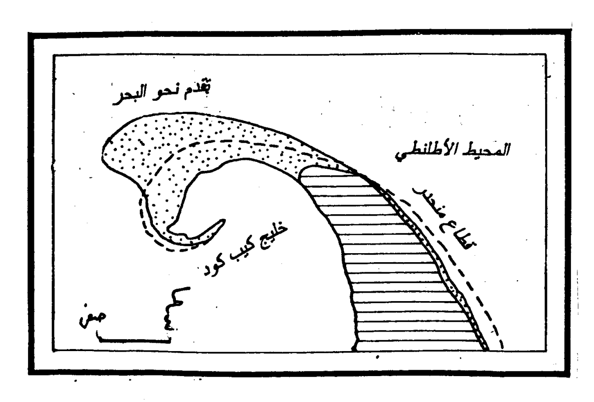
شكل رقم (١٠٩)

١ - وجود أمواج ثانوية تأتى من اتجاهات تختلف عن الأمواج الرئيسية المسببة فى حركة إزاحة الرواسب على طول الشاطئ[1].

(١) أفضل الأمثلة للألسنة البحرية تلك التى تنمو على شواطئ البحار الداخلية والبحيرات واللاجونات الساحلية.

٢ ـ وجود مياه عميقة «وفارق مـدى» كبير عند نهاية اللسان، بينما فى حالة المياه الضحلة يتجه انحراف الأمواج فى مـوازاة اللسان نفسه، ومن ثم يصعب عليه أن ينحنى وعـادة ما تتعـرض المنطقة المـائية المحصـورة بين اللسان وخط الـشاطئ وخاصـة مع عدم تـعامده عـلى خط الشاطئ ـ للامـتلاء بالرواسب بسـبب هدوء ميـاهها وبعـدها عن الأمواج والعـمليات البـحرية الأخـرى، ومن ثم تتطور إلى سبخات كما يظهر ذلك بوضوح من الشكل السابق.

ومن الألسنة الشهيرة لسان هرست كاسل الذى يعد مثالاً جيدًا لأحد الألسنة البحرية الكبيرة التى تأثرت بإزاحة الرواسب الشاطئية التى تأتيه من الشمال الغربى واللسان ذاته يتجـه من الشمال الغربى إلى الجنوب الشرقى تظهـر عند نهايته ألسنة حصوية shingle spits انحـرفت عن الاتجـاه الرئيـسى للسـان بزاوية ٩٠°. ومن الألسنة لسان «ساندى هوك» بولاية نيوجيرسى الأمريكية شكل رقم (١١٠).



شكل رقم (١١٠)

ويظهـر على بعض قطاعـات من السـواحل المصـرية بعض الألسنة الرمليـة المنحنية recurved أكبـرها لسان دمياط الذى يتـجه نحو الجنوب الشـرقى من نتوء

دمياط مواز تقـريبًا لخط الشاطئ تاركًا منطقة ضحلة تنمو بـها بعض النباتات المائية فيما بينه وبين حاجز بحيرة المنزلة ويكاد يلتحم اللسان مع اليابس بسبب امتلاء هذه المنطقـة بالرواسب وتحولهـا إلى سبـخة سـاحلية، ويرجع تكون هذا اللسـان إلى الرواسب التى يأتى بها التيار الشاطئى من مصب دمياط مع قدوم أمواج رئيسية من الغرب والشمال الغربى ساعد انحرافها عن اقترابها من الشاطئ على تكوينه (راجع المؤلف، ١٩٩٤، ص١٦ - ٢٠).

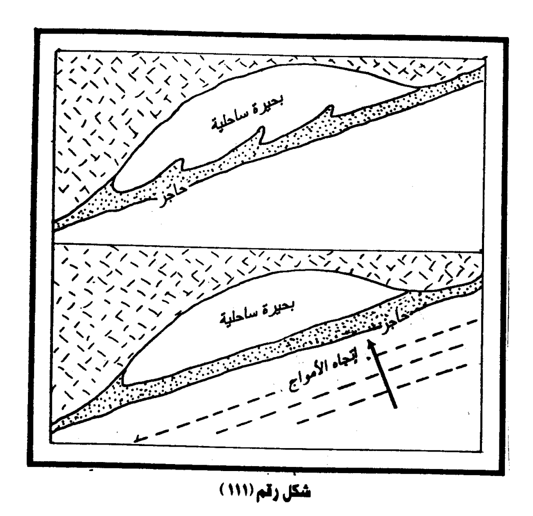
وعمـومًا، عندما يتكون لسـان رملى عند أحد أطراف خليج بحرى فـيؤدى انحراف الأمـواج والإزاحة الشاطئيـة إلى انحراف طرفه ونموه فى مـوازاة الشاطئ ليتحول إلى حافة رملية تغلق الخليج وتحوله إلى لاجون شاطئى.

وجدير بالذكر أنه يمكن تتبع تطور الألسنة الرملية من خلال سلسلة خرائط قديمة تبرز مراحل نموه المبكرة وكذلك من خلال تتبع الصور الجوية الحديثة.

٣ ـ الحواجز الشاطئية Barriers :

عبارة عن أشرطة من الـرواسب الشاطئية الضيقة التى لا يـزيد عرضها على بضعة كـيلومترات وأحيانًا ما تضـيق إلى عدة عشرات من الأمتـار مع وجود قمم كثيبـية قد يصل ارتفاعها إلى أكثـر من مائة متر فوق مسـتوى سطح البحر (Bird, E.c., 1978, p188) وتتكون على طول امتـداد بعض السواحل فى منطقـة الشاطئ البعيد وفى الشروم والخلجان على شكل حواجز ممتـدة تظهر فوق مستوى مياه المد الربيعى وهى بذلك تختلف عن الحافات المنخفضة berms التى عادة ما تغمر بمياه المد. ويوجد نوع مـن الحواجز يعـرف بالحاجـز الخليجى bay barrier ويقصد به الحافـة الرسوبية الممـتدة عبر خـليج بحرى بحيث يفـصله عن البحر ليـحوله إلى لاجون سـاحلى، ويتمـيز هذا النوع بوجـود انحناءات واضحة عند أطـرافه ترتبط أساسًـا بنشأته الأولى. راجع الشكل التـالى رقم (١١١) الذى يبين تطور الحـواجز الشاطئية.

وقد اتضح من الدراسـات الحديثة أن الحواجـز الرسوبية الشـاطئية متـعددة النشأة وإن كان يمكن تحديد نوعين رئيسيين منها.



شكل رقم (١١١)

النوع الأول - وهو عبارة عن لسان بحرى تكوَّن بواسطة تيار الدفع الشاطئى long shorecurrrent وانحراف الأمواج المقتربة من الشاطئ.

النوع الثانى - نوع من الحواجز يمثل نتاجًا لعمليات تطور تعرضت لها سواحل الحسر.

وعمومًا ، تتميز الحواجز الشاطئية بتعقيدها الشديد من حيث النشأة والتطور ومن حيث العمليات التى تؤثر فى تكوينها وتشكيلها. فيرى البعض بأن حواجز الشاطئ قد تكونت فى بداية الغمر الهولوسينى عندما أدى ارتفاع منسوب مياه البحر إلى تجمع الحصى والرمال باتجاه الشاطئ ويدللون على صدق رأيهم بما نراه الآن من تحرك للحواجز - بشكل متقطع - تجاه الشاطئ وخاصة أثناء هبوب العواصف البحرية العنيفة والتى ينتج عنها تحرك واكتساح للحصى والرمال تجاه البحيرة التى تفصلها عن البحر (Steers, J.A., 1953).

وتستقبل الحواجز الساحليـة رواسب رملية من المناطق القريبة منها سواء من منطقة الشاطئ الخارجى أو من الحافات المتاخمة للشاطئ الخلفى أو مما تلقيه الأنهار من رواسب، ويزداد معـدل نمو الحاجز عـادة فى حالة ضـيق الفارق المدى وزيادة معدلات تدفق الرواسب نحو شاطئه.

وكثـيراً ما تقطع الحواجـز التى تفصل البحـيرات الطولية عن البحـر بسبب عمليـات التعرية البحـرية وخاصة تيارات المد والجزر الـتى تتحرك تقدمًـا وتراجعًا خلال تلك الفتحـات، أو قد تتقطع بفعل تركيز طاقة الأمـواج على مواضع معينة بالحاجز مكونة الفتحات المدية inlets. وفى بعض الحواجز قد تمثل تلك الفتحات مصـبات لأفرع دلـتاوية مثل تلك الفـتحـات التى تقطع حاجزى المنـزلة والبرلس بمصر.

ويمكننا تفهم تاريخ تطور الحـواجز الرملية من خلال دراسـة أنماط الحافات والكثبـان الساحليـة وخاصـة عندما توجد بقـايا ألسنة وشطوط قديمـة تدل على حدوث تتابع لمراحل النمو التى مر بها خط الشاطئ.

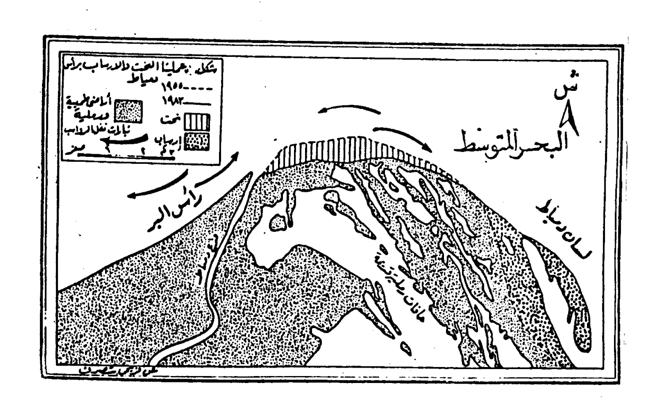
وفيـما يلى دراسة مختصرة عن حاجز بحيرة المنـزلة كمثـال للحواجز الساحلية :

يمتـد هذا الحاجز من مصب فـرع دمياط غربًا حـتى مدينة بورسعيـد باتجاه الجنوب الشرقى لمسـافة ٥٠ كيلومترا وجـملة مساحتـه قدرها ٤٠ كيلومتـرا مربعا تقريبًا، وهو من أنواع الحـواجز الشاطئية المـركبة، حيث يتكون من مجـموعة من الشطوط الرملية الشـريطية الممتـدة فى موازاة بعضـها البعض، وقد التـحمت مع بعضها البعض مكونة حاجزاً واحداً وذلك بعد إطماء المستنقعات الضحلة الموجودة فيمـا بينها ويظهر ذلك بوضوح فى الجـزء الشمالى الغربى من الحـاجز شكل رقم (١١٢).

وقد لعبت العمليات البحرية دورها فى نشأته حيث قام تيار الشاطئ وكذلك الأمواج بنقل الرواسب وإعادة توزيعها، كما ساهمت الرياح فى تكوينه من خلال ما أتت به من رمال وتربة خاصة على شواطئها الجنوبية وفوق سطحه.

ويتـراوح اتساع الحـاجز مـا بين ٢٠٠٠ و ١٥٠ متـراً حيث يضـيق بشكل واضح إلى الغرب من بوغـاز أشتوم الجميل، يـتميز سطحه بالانـخفاض (لا تزيد

أعلى أجزائه عن مترين فقط مع الانحدار خفـيف للغاية باتجاه البحر) ويندر وجود الكثبان الرمليـة فوق سطحه، وإن ظهرت فتظهـر فى شكل نباك منخفضة ومثبتة بالنباتات التى تنمـو فوقها ، وترجع قلة الرواسب الرملية فـوق سطحه إلى هبوب الرياح الشمـالية الغربية فى مـوازاته مع انتشار السبـخات والسياحات المـائية فوق السطح حيث تنمو بها النباتات الملحية.



شكل رقم (١١٢)

ومن الفتحات التى تصل بين بحيرة المنزلة والبـحر بوغاز أشتوم الجميل إلى الغرب من بورسعيد بنحو ١٠كم يبلغ اتسـاعه ٢٢٠ متراً يضيق إلى ١٥٠ متراً فى مدخله البحـرى ويبلغ طوله نحو ٥٠٠متر، ويوجـد بوغاز إلى الغرب منه يعرف

ببوغاز الطينة وهو أقل منه اتساعًا(*). وعادة ما تظهر بعض الجزيرات الرملية عند مدخل البوغـاز من الجهة البحرية يرجع تكونهـا إلى التقاء التيار البـحرى مع تيار الدفع الشاطئى مما يؤدى إلى انخـفاض السرعـة وحدوث تراكم للرواسب. ونظرًا لتكون الحاجـز من الرواسب النيلية أساسًا فـقد تعرض الآن لعمليـات نحر وحت موجى فى مواضع كثيرة من شـاطئه بسبب قلة ما يأتى إليه الآن من هذه الرواسب (للاستزادة، راجع المؤلف، ١٩٩٤).

أما بالنسبة لحواجز سواحل الحسر فتتـمثل غالبًا فى حافات رسوبية متماسكة مثل تلك الحافة الرملية الجيرية التى تفـصل بين بحيرتى مطروح من جانب والبحر المتـوسط من جـانب آخـر والتى تعـرف بالسلسلة الشـمـاليـة حـيث تكونت فى الهولوسين، بينما تحتل البحيرتان قـاعا منخفضا إلى الجنوب منها وقد ظهرت هذه الحافة مع انحسار البحر وانكشاف الساحل.

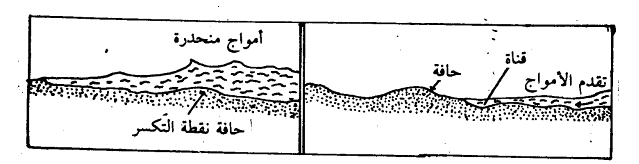
ومن الحواجـز أيضًا ما يعـرف بالحاجز المرجـانى الذى يمتد بعـيدًا عن خط الشاطئ يفصله عنه قناة مـائية عميقة نـسبيًا ويرتفع منسوبه فوق مـستوى الماء عند الجزر ويتكون سطحه من مرجانيات ميتة وتكثر به الشقوق كما يتضح تفصيلاً فيما بعد.

٤ ـ الحافات الرملية Break Point Bars :

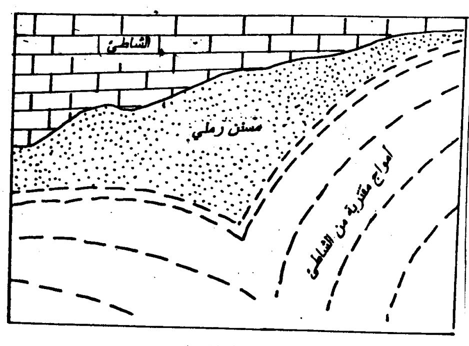
تظهر على طول قطاعـات السواحل المنخفضـة الإرسابية والتى تتمـيز ببطء انحدارهـا نحو البـحر حافـات رملية منخـفضـة عند نقطة تكسـر الأمواج break point، حيث إنه عادة ما يعاد ترسيب الرمال التى أزيلت أثناء العواصف فى شكل حافات منخفضة فى منطقة الشاطئ القريب أثناء الجزر حيث يتم تراكمها فى منطقة تكسر الأمواج نتيـجة لتقابل الرمال المنقولة تجاه الشـاطئ بتلك الرمال المسحوبة منه متجهة مع التيارات المرتدة نحو البحر وذلك أثناء عملية الارتداد back wash، وقد تم التأكـد من حدوث هذه العـملية من خـلال العديد من التجـارب التى تمت فى صهـاريج الأمواج والتى أظهرت ارتبـاط كل من حجم هذه الحافـات وبعدها عن الشاطئ بأبعاد الأمواج فى المنطقة الشاطئية، فالأمـواج كبيرة الحجـم تؤدى إلى بناء

(*) يقع على بعد كيلومتر واحد منه .

حافات أكبر حجمًا وأكثر امتداداً نحو منطقة الشاطئ الخارجى. وعندما تسود الأمواج البانية تتحرك الحافات الرملية المنخفضة باتجاه الشاطئ الأمامى وتصبح أكثر تسطحًا مع تقدم مياه البحر فى شكل أمواج غالبًا ما تكون متشعبة تقوم بعملية الترسيب على سطح البلاج شكل رقم (١١٣).



شكل رقم (١١٣ أ)



شكل رقم (١١٣ ب)

والواقع أن تتابع عمليتى النحت والإرساب البحرى على شاطئ يستقبل كميات وفيرة من المفتتات الصخرية ينتج سلسلة من الحافات المتوازية، وحيثما تتكون حافة رملية نتيجة لحدوث عاصفة بحرية تتبعها حافة أخرى فى الجانب المواجه للبحر، وذلك مع قدوم رمال إلى الشاطئ أثناء فترة هدوء البحر اللاحقة

لحدوث العاصفة، وقد تتكون هذه الحافات المتوازية على شاطئ تحيط به من اليابس مجموعات من الكثبان الشاطئية، كما أنها قد تتكون مع نمو ألسنة بحرية فى موازاة خط الشاطئ.

ويرى Thom, 1964 أن تكوينات الحصى، كذلك الرمال الخشنة قد تتشكل فى حواجز بفعل الأمواج العاصفة على حساب تكوينات من الرواسب الناعمة، ويتأثر ارتفاع وتباعد الحافات الرملية أو الحصوية المتزايدة بعدة عوامل يتمثل أهمها فى وفرة الرواسب وفعالية النحت والتغير فى منسوب مياه البحر، فإذا ما وجدت سلسلة من الحافات المتوازية التى تتناقص مناسيبها بالتتابع تجاه البحر فتكون بذلك دليلا على حدوث انحسار لمياه البحر.

وقد درس جريسويل Gresswell, 1953 ظاهرة الحافات المنخفضة على المسطحات المدية أمام ساحل لانكشير ووجدها عبارة عن حافات منخفضة (ارتفاعها نحو المتر) وعرضها أكثر من مائة متر، وتبدو المنخفضات المحصورة بينها كلاجونات أثناء غمرها بالمياه خلال فترة حدوث المد، كما أظهر كذلك أن نمط ارتصافها أمام خط الشاطئ يرتبط بشكل الأمواج المقتربة منه، فإذا ما جاءت منحرفة امتدت الحافات بانحراف محدد على خط الشاطئ.

٥ - مسننات الشاطئ Beach Cusps :

قد تظهر المسننات على الشواطئ الرملية والحصوية فى المنطقة التى تتقدم فيها المياه باتجاه خط الشاطئ، وتتكون هذه الأشكال الساحلية من تتابع منتظم لمنخفضات نصف دائرية يزيد عمقها على المترين تفصل بينها مسننات منشورية الشكل تقريبًا تتجه رءوسها نحو البحر، وغالبًا ما تتكون من رواسب خشنة من رمال وحصى وقد يرتفع منسوب قاعدتها باتجاه اليابس إلى ٣ متر.

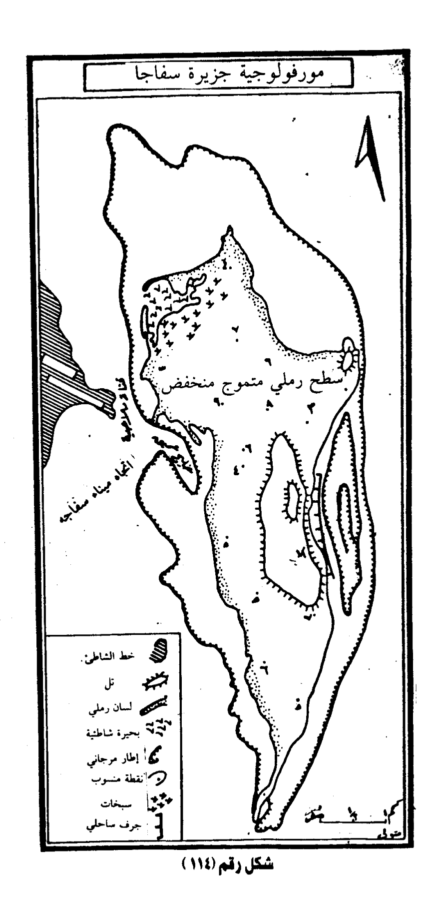
ويرى جونسون (Johnson, D.W, 1965) أن المسننات تتكون نتيجة لنحت متماثل للأمواج، مما يؤدى إلى تكون خلجان ضحلة غير منتظمة الشكل فى البداية يعقب ذلك تعديل فى أبعادها بحيث تتناسب أبعادها والمسافات بينها مع أبعاد الأمواج المؤثرة عليها.

وتعد المسننات من الملامح الساحلية سريعة التكوين ولكنها حيثما تتكون فإنها تؤثر على أنماط تقدم المياه swash عندما تتكسر الأمواج أمامها، وقد أظهرت الدراسات التى تناولتها أن أحجامها وامتداداتها فى البحر ترتبط بحجم الأمواج المقتربة موازية للشاطئ، بينما يقل معدل تقدمها وامتداداتها فى البحر عند اقتراب الأمواج بشكل منحرف على خط الشاطئ، كما أنها تتطور بشكل جيد على الشواطئ التى ترتكز فيها الرواسب على صخور قليلة النفاذية.

ومن المناطق التى تظهر بها المسننات، ساحل خليج سدنى بأستراليا حيث الرواسب الشاطئية من الرمال الخشنة المنحدرة نحو البحر بانحدار شديد نسبيا راجع شكل (١١٣ب) الذى يبين أحد مسننات الشاطئ وقد تطور على ساحل تقترب منه أمواج موازية لخط الشاطئ.

وفى دراسة للمؤلف بمنطقة بحيرات مطروح شاهد ثلاث مسننات منخفضة على طول الساحل الشمالى الغربى للاجون الأزرق شرقى مرسى مطروح وقام بقياسها ودراسة أبعادها والعمليات التى كونتها وهى باختصار مسننات منخفضة - ترتفع عن مستوى البحيرة بأقل من نصف متر - تمتد أمامها مياه ضحلة - أقل من ٣٠سم فقط - تتميز أسطحها بظهور بعض النباتات الجفافية القصيرة التى تزداد وضوحًا شمالاً باتجاه قواعد المسننات حيث الارتفاع التدريجى للأرض وقد وجد المؤلف أن هذه النباتات تعمل على تصيد الرمال القادمة من سلسلة مطروح الجيرية وتعمل فى نفس الوقت على تماسك رمال المسننات والمحافظة على أبعادها متضافرة مع المياه المتسربة من البحيرة وما بها من أملاح تعمل على زيادة تماسك حبيبات الرمال الكلسية المكونة للمسننات.

وتظهر مسننات أيضًا فى بعض المواضع على ساحل الدلتا الشمالى وفى مواضع بساحل خليج السويس قرب مصبات الأودية، وقد تظهر المسننات كذلك فى ظل المضاحل shoals والجزر الساحلية المنخفضة تشكلها الأمواج المنتشرة حول الجزيرة ، وقد تمتد فى شكل ألسنة مسننات cuspate spits مثلما الحال على طول خط الشاطئ الغربى لجزيرة سفاجة حيث تظهر ألسنة رملية ضيقة أوضحها ذلك اللسان الضيق المتجه نحو الجنوب الشرقى مع حركة التيار المائى الشاطئى ، يبلغ طوله ٤٥٠ مترًا وعرضه نحو ٥٠ مترًا وسوف ينتهى به الأمر بالاتصال من طرفه باليابس وتكوين لاجون محدود المساحة شكل رقم (١١٤).

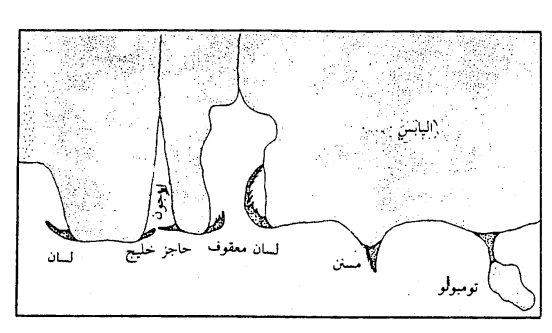


مورفولوجية جزيرة سفاجا
سطح رملي متموج منخفض
اتجاه ميناء سفاجه
خط الشاطئ
تل
لسان رملي
بحيرة شاطئية
إطار مرجاني
نقطة منسوب
سبخات
جرف ساحلي

شكل رقم (١١٤)

٦ ـ الخلجان والشروم الساحلية :

من الأشكال الساحلية الـتى نتجت عن حدوث غمر بحـرى حديث لبعض السواحل، وتبـدو فى شكل شروم وخلجان على السواحل المنـخفضة كمـا يتضح ذلك من الشكل رقم (١١٥) ويطلق عـلى الساحل الذى تتـجاور فـيه مـثل هذه الخلجان والشروم ـ حـيث مصبات الأودية الغـارقة ـ بسواحل الريا ria-coast وهو مصطلح أسبانى يقصد به سواحل مصبات الأودية التى تعرضت للغرق والتى يزداد اتساعها باتجـاه البحر، وإن كان ذلك التعريف يتداخل مع مـفهوم المصب الخليجى estuary.



شكل رقم (١١٥)

كـما تعـرف الفـتحـات المؤدية للأودية الجلـيدية على السـواحل المنحـدرة بالفـيوردات، والواقع أن الخصـائص الجيـولوجيـة والجيـومورفـولوجية التـى تميز الفيـوردات نتجت عن عمليات نحت جـليدى فى مراحل سابقـة وتبدو فى شكل أحواض طولية troughs منحوتة بفعل الجليد ومياه البحر فى أعقاب انصهار الجليد البليستوسينى كما سوف يتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد.

أما عن المصب الخليـجى فهو ببسـاطة عبارة عن مصب نهـرى يزداد اتساعًا باتجاه البحر بحيث يبدو قمعى الشكلfunnel Shaped وقد أخذ هذا الشكل نتيجة لغمر بحـرى لشاطئ منخفض،وما يميـزه أنه يرتبط فى أبعاده وتطوره بظروف المد والجزر والتيـارات المدية وظروف الملوحة بسبب وجوده فى منطقة التـقاء بين النهر بمياهه العذبة ومياه البحر المالحة شكل رقم (١١٦).

ومن الأمثلة الواضحة مصب نهر السين واللوار والجيروند بفرنسا، وتتميز بالفارق المدى الضيق وتظهر بها عدة قنوات مائية (القنوات المدية) تصل بين النهر والبحر تحدها جوانب من تكوينات رملية وطينية، وتؤدى التيارات المدية إلى حدوث تغير دائم فى مواضع وأبعاد هذه القنوات، ويعرف النطاق الذى تمتد فوقه هذه القنوات بنطاق المسطحات المدية المرتفعة high tidal flats وإن كانت تمتد باتجاه البحر لتظهر فوق مسطحات مدية داخلية بشكل أقل وضوحًا.



شكل رقم (١١٦)

وتعد المصبات الخليجية بيئة نموذجية للإرساب حيث تتعرض المنطقة المغمورة بالمياه حديثًا للامتلاء بشكل مستمر إلى أن ينتهى الأمر بالتقاء النهر بالبحر خلال سهل رسوبى مكونا من رواسب قدمت إليه من مصادر مختلفة (ما تأتى به الأنهار والأمواج) وتظهر عملية الامتلاء بوضوح فى السواحل المدارية الرطبة حيث تتعرض التربة لتجوية حادة تؤدى إلى تفتتها إلى تكوينات طينية تنقل كميات ضخمة منها باتجاه السواحل مكونة مسطحات طينية تنمو فوقها أشجار المانجروف مثلما الحال على ساحل جاكرتا بجزيرة «جاوة» الإندونيسية.

٧ ـ البحيرات الشاطئية Coastal lagoons :

تنتشر على قطاعات عديدة من السواحل المنخفضة بحيرات مغلقة ـ بشكل جزئى أو كلى ـ بواسطة الحواجز الرملية التى ذكرت تفصيلاً من قبل مثل سواحل مصر الشمالية والساحل الشرقى للولايات المتحدة وسواحل خليج المكسيك وسواحل غرب إفريقيا والساحل الغربى للخليج العربى وساحل اللاند فى فرنسا وغيرها الكثير.

وتختلف أشكال تلك البحيرات تبعًا لاختلاف شكل الخليج أو الشرم الذى تحولت عنه، فبعضها كان فى الأصل عبارة عن خلجان واسعة والبعض الآخر عبارة عن مصبات واسعة لبعض الأودية أو شروم ساحلية راجع شكل رقم (١١١) و (١١٥).

وقد تظهر بعض الجزر داخل هذه البحيرات مثلما الحال فى بحيرة المنزلة بمصر وغيرها من البحيرات الشمالية، وتتميز شواطئ هذه البحيرات ببساطتها وانخفاضها مع تعرجها وانحدارها الخفيف نحو قاع البحيرة.

وكثيرًا ما يتطور الحاجز الرملى وينمو باتجاه البحيرة فيؤدى إلى تقطعها إلى مجموعة من البحيرات الأصغر لينتهى بها الأمر إلى الامتلاء والتحول إلى مستنقعات أو سبخات والتلاشى فى النهاية مثلما الحال فى البحيرات التى جفت تقريبًا شرقى بحيرة مطروح الشرقية.

وإذا ما كانت هناك أنهار تصب فى هذه البحيرات فيمكننا فى هذه الحالة تقسيمها ـ تقسيم سطحها المائى ـ إلى ثلاثة نطاقات الأول ويمثل المنطقة العذبة ويتاخم مصبات الأنهر، والثانى يتمثل فى منطقة المياه المالحة الناتجة من المد البحرى وتتاخم الفتحات المدية والمنطقة الثالثة منطقة انتقالية وسطى تتميز بمياهها الآسنة brackish وقليلاً ما تتأثر بحركة المد والجزر، وتختلف مساحة كل منطقة منها من بحيرة إلى أخرى حسب ظروف المناخ ومدى توفر المجارى المائية التى تصب فيها (يراجع بالتفصيل للمؤلف، ١٩٩١).

وكما ذكرنا فى دراسة الحواجز توجد فتحات عبر هذه الحواجز تصل بين البحيرة والبحر وتعد فى نشأتها نتاج صراع مستمر بين التيارات المدية القادمة من البحر وبين عمليات الإرساب التى تتم بسبب الإزاحة الشاطئية.

وتتولد التيارات التى تتحرك خلال هذه الفتحات بطرق مختلفة، فهناك تيارات مدية قادمة إلى البحيرة أو خارجة منها باتجاه البحر فى حالة الجزر وعادة ما تزداد قوة فى حالة الفارق المدى الواسع، وتوجد كذلك تيارات ترجع إلى تدفق مياه الأنهار إلى اللاجون وخاصة أثناء فيضانها، وهناك أيضًا تيارات تتولد بفعل الرياح الشاطئية on shore wind تتجه من البحر إلى البحيرة ، بينما تعمل الرياح القادمة من اليابس إلى تحريك رمال البحيرة إلى البحر. وتعمل التيارات القوية على توسيع الفتحات وزيادة أعماقها، بينما تتعرض للإطماء والانسداد فى حالة ضعف هذه التيارات.

وجدير بالذكر أن مواضع وأبعاد الفتحات المدية تتغير بشكل مستمر، مرتبطة فى ذلك بالعمليات الساحلية من نحت وإرساب، كما أنها تتأثر بالتدخلات البشرية المتنوعة كما سيتضح ذلك بالتفصيل فى الفصل الأخير من هذا الكتاب.

٨ - السبخات الساحلية :

كثيرًا ما تظهر السبخات على طول السواحل المنخفضة مثل سواحل الخليج العربى الغربية وسواحل مصر على البحرين المتوسط والأحمر، وتعنى كلمة سبخة وفقًا لتعريف Glennie المسطحات الملحية salt flats التى تعلو تكوينات الصلصال والغرين والرمل،وغالبًا ما تغطى بقشور ملحية يتحكم فى منسوبها مستوى الماء الجوفى.

وتختلف السبخات الساحلية عن تلك السبخات الداخلية فى كون الأولى قد نتجت عن عمليات ترسيب بحرية إلى جانب عمليات الترسيب الهوائية، أما الثانية فتتمثل فى مناطق تتوازن عندها عمليات الترسيب الهوائى والتذرية ويتحكم فيها مستوى الماء الجوفى عندما يقترب من مجال الخاصة الشعرية.

ونتيجة للتبخر الزائد وارتفاع درجة الحرارة وسيادة الجفاف تتراكم المتبخرات evaporites فوق سطح السبخة، وكثيرًا ما تظهر فوق أسطح السبخات أشكال رملية، وخاصة فوق تلك الأجزاء اللزجة منها والتى تعمل على تثبيت الكثبان الرملية وتطورها فى مواضع ترسيبها.

وتتميز السبخات الساحلية بوجودها عند مناسب قريبة جدا من سطح البحر مع امتداد القنوات المدية فوق الأجزاء الصلبة منها، كما تكثر الأهداف البحرية بأنواعها المختلفة فوقها مما يدل على تعرضها لطغيانات بحرية فى فترات سابقة.

الخصائص والملامح المورفولوجية المرتبطة بالسبخات الساحلية :

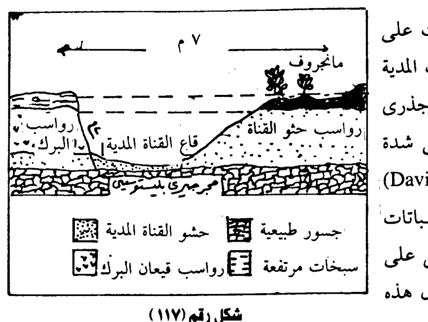
ينتج عن اضطراد نمو السبخات الملحية الساحلية تكون شطوط طينية mud banks مع ظهور مناطق منخفضة عن المستوى العام لسطح السبخة مما يعطيها مظهرًا غير منتظم، ومع تزايد ارتفاع وامتداد هذه الشطوط الطينية تتوقف الحركة الغطائية لمياه البحر،وتظهر مياه المد والجزر داخل قنوات تبدو فى مراحل نشأتها الأولى غير واضحة المعالم - ضحلة - ومع استمرار نمو السبخة يتعاظم النمو النباتى مع وضوح أبعاد القنوات المدية التى تزداد جوانبها ارتفاعًا وثباتًا بفعل ما يأتيها من رواسب وما تقوم به النباتات من تثبيت لها، كذلك تعمل الرياح الشاطئية على جلب الرمال إليها من منطقة الشاطئ الخلفى مما يساعد على ارتفاع سطح السبخة.

وفيما يلى أهم الملامح المورفولوجية بسطح السبخات الساحلية :

- القنوات المدية Tidal Creeks :

تعد من أكثر الملامح المورفولوجية وضوحًا فى نطاق المسطحات المدية المرتفعة مع امتداداها باتجاه البحر لتظهر بشكل أقل وضوحًا فوق المسطحات المدية المنخفضة (الداخلية).

وتظهر القنوات فى شكل شبكة تتحرك خلالها المياه المدية، تحد كل قناة منها جوانب تشبه الجسور الطبيعية natural levees تتكون من رواسب خشنة بالمقارنة برواسب قيعانها. ويعد الطين من أكثر التكوينات تأثيرًا فى تطورها حيث تظهر القنوات المدية فى الرواسب الطينية واضحة الجوانب فى نمط شجرى، وتزداد منعطفاتها وضوحًا وتنحدر جوانبها بشدة نحو قيعانها، أما فى حالة السبخات الرملية فتكون القنوات المدية بها أكثر اتساعًا وأقل عمقًا بحيث تكاد تختفى جوانبها، كما أن قطاعاتها كثيرًا ما تتعرض للتلاشى فى أعقاب تعرضها لأى غمر بحرى طارئ.راجع الشكل رقم (١١٧).



شكل رقم (١١٧)

قطاع فى قناة مدية

وتساعد النباتات على تثبيت جوانب القنوات المدية وكلما كانت ذات نظام جذرى متشعب ساعد ذلك على شدة انحدار هذه الجوانب (Davies, J.L., p65) وإن كانت النباتات فى حالات كثيرة تعمل على إعاقة حركة المياه خلال هذه القنوات وخاصة عند موت الأنواع الطافية والمغمورة منها وتراكمها فى القاع بحيث تؤدى إلى انسداد القناة المائية.

ومن العوامل الأخرى التى تؤثر فى القنوات المدية مياه المد البحرية والتى تلعب دوراً كبيراً فى تعميقها من خلال عمليات النحت والإرساب.

- البرك الملحية Salt Pans :

عادة ما تتكون فى المواضع الخالية من النباتات وتظل ممتلئة بالمياه حتى فى حالة انحسار مياه البحر (أثناء الجزر) وعادة ما تكثر هذه البرك فى السواحل الجيرية بالعروض المدارية.

تتمثل أهم الأسباب التى أدت إلى وجود البرك الملحية داخل السبخات الساحلية فى تلاشى جوانب القنوات المدية أو فى انسداد مجرى القناة المدية بسبب تراكم النباتات بمجراها وارتفاع مناسب قيعانها مما يؤدى بدوره إلى ارتفاع منسوب مياهها وغمرها لجسورها لتتحول فى النهاية إلى بركة متسعة أو منقع مائى منخفض تركد المياه داخله. وتتميز قيعان هذه البرك بتماسك صخورها وتتميز جوانبها بشدة انحدارها وكثيراً ما تظهر التكوينات العضوية النباتية والمفتتات الدقيقة بها.

وفى كثير من الأحوال تظهر بعض حفر الإذابة على أسطح السبخات بالعروض المدارية الجافة حيث ترجع فى نشأتها كما ذكرنا فى موضع سابق إلى عمليات إذابة أو حفر بيولوجى.

ـ الخوانق الدقيقة Minor Gorges :

تظهر فى بعض السبخات الساحلية فى شكل قنوات عميقة نسبيا وضيقة مع نمو نباتات ملحية على جوانبها مع اتصالها بالبرك الملحية سابقة الذكر. وتعد مسالك طبيعية تنصرف عبرها المياه من البرك عندما يرتفع منسوبها مع تحرك المياه خلالها أثناء الجزر فى حركة عكسية باتجاه البرك. وهى تختلف فى خصائصها وأبعادها عن القنوات المدية وترجع فى نشأتها إلى التتابع المستمر لحركة المياه خلالها من وإلى البرك المتصلة بها، كما أنها كثيراً ما ترتبط بالشقوق fissures التى كثيراً ما تظهر فوق سطح الأساس (الأديم) الذى تكونت فوقه السبخة.

ومن الظاهرات الأخرى المرتبطة بالسبخات الساحلية ما تعرف بحافات البلاج beach ridges التى عادة ما تظهر بين المستويات المختلفة للمسطحات المدية.

وقد درس المؤلف كل هذه الملامح فى السبخات الموجودة بساحل مرسى مطروح وساحل البحر الأحمر (يمكن للقارئ الرجوع إلى المؤلف، ١٩٩٤ للاستزادة).

٩ ـ مستنقعات المانجروف الساحلية Mangrov Swamps :

تتمثل أشجار المانجروف فى ارتباطها بعمليات الترسيب على السواحل المدارية المنخفضة حيث تعمل الأشجار العالية بجذورها الهوائية المتشعبة على الحد من سرعة المياه المحملة بالغرين مما يجعلها تجنح إلى الإرساب، هذا إلى جانب ما يضاف إلى السطح من أوراق وأغصان وجذور تتحلل لتضاف كمادة عضوية فى التربة.

وقد أظهرت الدراسات الحديثة دور المنجروف كعامل هام ومؤثر فى تطور خط الشاطئ إلى جانب حمايتها للسواحل التى تنمو بها.

وتظهر فى مستنقعات المانجروف بالسواحل المدارية بعض الملامح والأشكال الجيومورفولوجية أهمها الشطوط الطينية mud banks التى تنكشف أثناء الجزر وكذلك القنوات المدية التى تقطع الأسطح المدية فى شكل شبكة متشابكة الفروع reticulated creeks على سواحل المصبات الخليجية المدية tidal estuaries مثلما الحال على سواحل غرب أستراليا وسواحل غرب أفريقيا شكل رقم (١١٨) الذى يبين قنوات مدية بدلتا نهر النيجر.

وتظهر أنماط قصيرة من المانجروف على بعض المواضع بساحل مصر على البحر الأحمر وعلى الساحل السعودى المقابل وعلى سواحل الخليج العربى كما سيتضح فيما بعد.

شكل رقم (١١٨)

وتمتد القنوات المدية تاركة مساحات واسعة تنمو فوقها النباتات التى تعمل بدورها على تماسك جوانبها وتعليقها بما تضيفه إليها من رواسب عضوية إلى جانب بقايا الأحياء الحيوانية والنباتية التى تختلط بالتكوينات الطينية التى تأتى بها مياه المد والرياح.

وعادة ما تتحرك المياه داخل قنوات المد فى شكل تيارات مدية مركزة تعمل على زيادة تعمقها وتوضيح مجاريها فوق أسطح المستنقعات، وفى كثير من الأحوال تحاط المداخل المدية inlets للبحيرات الساحلية بسبخات ملحية ومستنقعات المانجروف التى تتعرض للغمر المدى بشكل منتظم.

وجدير بالذكر أن هناك وفرة فى الحياة الحيوانية بمستنقعات المانجروف والتى تلعب دورها فى تشكيل أسطحها بما تقوم به من حفر فى الأسطح الطينية وفى صخور الشاطئ، وتزداد أعدادها وأنواعها فى السواحل المدارية الجافة وشبه الجافة

حيث تنمـو شجيرات المانجروف على طول السـواحل المرجانية التى تزخـر بالأحياء البحرية الحفارة المدمرة للصخور الشاطئية.

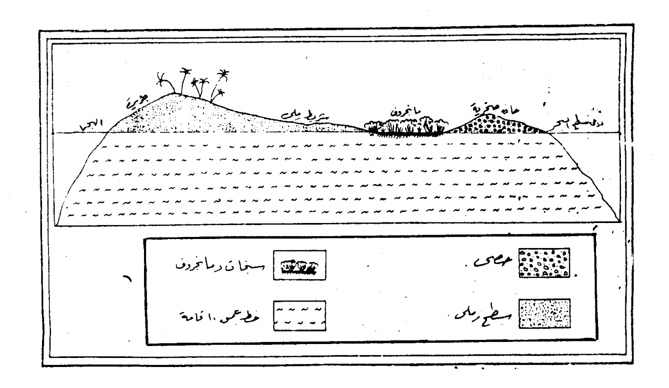
ومن الملامح المورفـولوجية هنا أيضًـا البرك التى تبـدو أكثر وضـوحًا وأكـبر مسـاحة من مثـيلاتها بالـسبخـات الملحية، وتنشـأ هنا عن عمليـة إذابة وتجوية فى مواضع الضعف الصخرى من شقوق وفجـوات تتميز بها السواحل المدارية وخاصة تلك التى تقل بها الأمطار أو تكون فصلية فى سقوطها.

كذلك تظهر هنا منحدرات محدبة convex slopes فيما بين نهاية مسطح المد المرتفع وسطح المد الداخلى المنخفض حيث تصطدم بها الأمواج وتشكل فى جبهاتها جروفًا منخفضة لا يتعدى ارتفاعها بضعـة أمتار، كما تعمل أشجار المانجروف كثيرًا على حجـز التكوينات الرملية فـوق أسطح الجزر المرجـانية وتحد من تحـركهـا نحو الداخل كمـا يتضح ذلك من الشكل التـالى (١١٩) الذى يبين مـستنقع مـانجروف وسط رصيف مرجانى بإحدى الجزر.

مستنقعات المانجروف على سواحل البحر الأحمر فى مصر :

يتمثل نبات المانجـروف على سواحل مصر بالبحر الأحـمر فى نبات ابن سينا البحرى (الشورة) الذى ينمو فى مناطق معينة بداية من خط عرض ٤٠ ـ ٢٧ْ شمال مـدينة الغـردقة وفـى منطقة رأس مـحـمـد بسـيناء، ويزدهر هذا النبـات هنا فى المسطحات المدية الداخلية وسط مستنقعات من المياه الراكدة الخالية تقريبًا من أى أثر للأمواج مع انحـدار خفـيف جدًا للسطح تجـاه البحر، وتعـد جزيرة الشـورة أمام ساحل الغردقة من المواضع المثـالية لنمو المانجروف وهى جزيرة منخفضـة (نحو متر ونصف فوق مستوى سطح البحر) يغطى سطحها بتكوينات جيرية ورملية ورواسب طينية عضوية يزدهر نمو المانجروف فى أجزائها الوسطى الأقل منسوبًا والمغطاة بشكل دائم بالمياه، وتـتكون التربة هنا من الطين المتـماسك الغنى بالمواد العـضوية النبـاتية والحيوانيـة، وتبدو الشجيرات متـشابكة وجذورها تنفسيـة بارزة فوق السطح تعمل على تصيد الرواسب والأوراق الساقطة.

ومن الملامح المورفـولوجـية المرتبطة بـها القنوات المدية والـبرك والمسطحـات الطينية إلى جانب ظهور حافات حصوية مرجانية ridges of coral shingle تماسكت



شكل رقم (١١٩)

وبرزت كملح مورفولوجى مميـز ، كذلك تظهر الكثير من الشقوق والحـفر وغيرها من الملامح الدقيـقة ، ومن سواحل المانجـروف فى مصر أيضًا دلتـا وادى «غدير» حيث تغطيهـا الشجيرات لمسافة سـتة كيلومترات باتجـاه الجنوب نحو مصب وادى الجمال. وفى سيناء تظهر مستنقعات المانجروف فى منطقة رأس محمد على شواطئ لاجون ضيق وضحل وتعد من المناطق الفريدة فى سيناء من حيث نمو المانجروف.

وفى دراسة للمؤلف بجزر فرسان السـعودية سجل العديد من مواضع النمو النباتى الشجيـرات المانجروف على سواحل أهمها وأكثرها وضـوحًا منطقتى مصب وادى مطر (الجانب الأيسر منه) وخور الميناء (مصب وادى القصار) وتوضح الصور التالـية (٣١) إحدى مـستنقـعات المانجـروف لاحظ قصـر الشجـيرات وضـحولة المستنقعات.



صورة رقم (٣١)

١٠ ـ الكثبان الرملية الساحلية Coastal Sand Dunes :

تتباين الـكثبان الرملية السـاحلية كثيرًا فـى أحجامها وأشكالهـا وكذلك فى درجة كثافتـها وفى مواضع ترسيبها. فهى على سبـيل المثال تختفى تمامًا من بعض السواحل المدارية، إلى جـانب أن شكلها يعـتمد على بعض العـوامل مثل طبيـعة منطقة الشاطئ الخلفى والنباتات الساحلية وظروف المناخ ونموها.

ويمكننا أن نحدد بإيجـاز العوامل المؤثرة فى تكوينها وتشكيلهـا على النحو التالى:

ـ توفر الرمال :

تعد الرمال ذات أهميـة بالغة فى تكوين نظم الكثبان الرملية الساحليـة كبيرة الحجم، وتلعب الأنهـار دورًا كبيرًا كمـصدر للرواسب اللازمة لبنائها عـلى سبيل المثال نـرى كوبر Cooper يربط بين تكون الـكثبـان السـاحليـة بولاية أوريجـون بالرواسب التى تأتى بها الأنهـار من الداخل، كذلك نرى الكثبان الشاطئـية بسيناء

ترتبط فى جزء كبير منها برواسب النيل، كما أن الكثير من الكثبان الساحلية على خليج العقبة قد تكون أساسًا قرب مصبات الأودية الجافة مثلما الحال قرب وادى دهب.

إلى جانب الأنهار نجد أن تراجع الحافات المتاخمة للساحل تؤدى إلى تكوين كثبان رملية جديدة.

ـ سرعة الرياح :

تعد الرياح القوية على الشاطئ ذات أهمية كبرى لدورها فى تحريك الرمال الموجودة على السواحل المعتدلة، بينما تختفى فى مناطق السواحل الإستوائية والمدارية(*).

ـ الرطوبة Humidity :

لقد أثبتت تجارب Belly, 1949 أن الرطوبة ذات تأثير واضح على سرعة الرياح، فقد أظهرت هذه التجارب أنه إذا ما احتوت الرمال الناعمة على نسبة رطوبة تتراوح ما بين ٢ - ٣٪ فإنها تحتاج إلى رياح قوية لتحريكها وذلك بسبب قوة تماسكها، والحقيقة أنه فى حالة ترطيب حبات الرمل dampness يحتاج تحريكها إلى قوة قص shear strength أكبر منها فى الرمال الجافة، على العكس من ذلك تعمل الرياح الشاطئية القوية فى السواحل المعتدلة على تجفيف سطح البلاج مما يسهل على الرياح القيام بمهمتها فى تذرية الرمال نحو الشواطئ الخلفية مما يساعد على ازدهار ونمو الكثبان.

ـ خصائص حبات الرمال :

عادة ما تتكون الرمال من الكوارتز (كثافته ٢,٦٥جرام/ سم٣) وإن كانت كثيرًا ما تختلط بمعادن أخرى أقل كثافة كما رأينا مثل الجبس أو أكثر مثل الماجنيت،

(*) رغم هبوب عواصف قوية على سواحل تلك العروض إلا أنها عادة ما تكون مصحوبة بأمطار غزيرة تؤدى إلى تشبع السطح الرملى بالمياه مما يؤدى إلى تماسكها وصعوبة تحريكها بفعل الرياح القوية المؤقتة (Davies, J.L., p152).

وهناك علاقة مباشرة بين حجم الجزيئات وسـرعة الرياح المطلوبة لتحريكها. فمثلاً لكى تتحرك الحبات الأكبر من ملليمـتر واحد فإنها تتطلب رياحًا شديدة تهب بين عقبتين، كما أن الحبات الأكثر استدارة تتحرك بمعدل أكبر وترتبط فى علاقة طردية واضحة مع سرعة الرياح[1].

تصنيف الكثبان الرملية الساحلية :

تتعـدد الأشكال والأحجام المختلفـة للكثبان السـاحلية مما يتطلب تصنيفـها لتسهيل دراستها، ويعد تصنيف Smith, 1954 أكثر التصنيفـات شمولية ووضوحًا ويمكننا تلخيصه فيما يلى :

أ ـ الكثبان الأولية :

اشتقت رمالـها من البلاج القريب، وليس للنبات دور كبـير فى تكوينها أو فى تطور أشكالها وتنقسم إلى نمطين رئيسيين هما :

ـ النمط الأول ويتـمـثل فى الكثـبان حـرة الحـركة وتظهـر على السـواحل الصحراوية حيث الجـفاف الذى لا يسمح بالنمو النباتى حيث تخـتفى النباتات من فوقها تقـريبًا أو تقل كثافته، وأهم أنواعـها الحافات العرضية وحـافات الترسيب، وعادة ما يكون للرياح دور كبير فى توجيهها حـيث إن معظمها يمتد متعامدًا على اتجاهها.

ومن المناطق الساحلية التى تنتشر بها سواحل البحر الأحمر وسواحل جنوب غرب أستراليا وساحل بحر العرب وسواحل المغرب وساحل بيرو وغرب الولايات المتحدة وغيرها.

ومن أنواع هذه الكثبـان برخانات صغـيرة تتراوح ارتفاعـاتها ما بين مـترين وستة أمتار وعرضها ما بين ١٠ و ١٥ متـرًا تتميز فى العادة بهجرتها نحو الداخل وظهورها فى شكل حافـات عرضية، وتنتشر مثل هذه الكثـبان على طول الساحل الشمالى لسيناء جنوب خط الشاطئ متأثرة بالرياح السائدة.

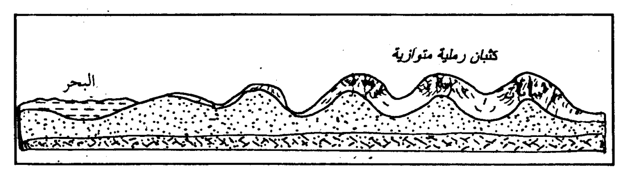
---

(١) عادة ما تكون حبيبات الرمل المكونة للكثبان أكثر استدارة من حبيبات رمال الشاطئ.

كذلك تظهر كثبان عرضية تمتد متعامدة مع اتجاه الرياح القوية كما قد تظهر كثبان مائلة تبدو كبيرة الحجم بالنسبة للأنواع الأخرى، وتظهر أيضًا حافات إرساب تمثل شكلاً انتقاليا بين الكثبان الأولية الحرة والمقيدة الحركة.

أما النمط الثانى فيتمثل فى الكثبان الأولية مقيدة الحركة primery impeded والتى يلعب النبات دوراً كبيراً فى تكونها مع الرياح وتعد كثبانًا ساحلية تقليدية فى المناطق الرطبة والمناطق شبه الجافة وخاصة مع توفر الرمال الشاطئية والنباتات التى تعمل على تماسك حبات الرمل بجانب الرياح القوية السائدة التى تقوم بنقل الرمال وتراكمها، وتعمل الرطوبة على ازدهار النمو النباتى فوقها.

وأكثر أنواع هذا النمط من الكثبان تلك المعروفة باسم الكثبان الأمامية أو كثبان الجبها frontal dunes تمتد عادة فى موازاة خط الشاطئ تقريبًا فى منطقة الشاطئ الخلفى شكل رقم (١٢٠) وقد تمتد فوق حافات شاطئية مكونة من الرمل والحصى حيث تتجمع الحشائش الكبيرة وتزداد ارتفاعًا واتساعًا مع تراكم الرمال، وعمومًا، فإن الكثبان الأمامية إذا ما تحركت فإنها تتحرك فى موازاة الرياح، وقد تظهر فى شكل حافة واضحة أو فى مجموعة من الحافات ذات القمم المستوية كما قد يظهر بعضها فى شكل تلال صغيرة تغطيها النباتات فى أقرب صورة للنباك.



شكل رقم (١٢٠)

والواقع أن النباتات المتصيدة للرمال والمسببة فى تكوين الكثبان الأمامية تختلف من ساحل إلى آخر من حيث أنواعها، فمثلاً نجد أن نبات قصب الرمال amophila arenaria يعد من النباتات الرئيسية المسببة فى تجميع وتراكم الرمال على سواحل غرب أوربا ، بينما نجد الغردق والرطريط الأبيض من أكثر الأنواع ارتباطًا بنمو الكثبان الرملية والنباك على السواحل المدارية وخاصة الجافة منها مثل سواحل البحر الأحمر والخليج العربى.

وعندما تتعرض هوامش الكثيب الأمامى (المواجه للبحر) لنحت الأمواج أثناء حدوث العواصف البحرية يتشكل جرف رملى منحوت كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٢١) ثم تتشكل فى فترة هدوء البحر بعد ذلك حافة شاطئية جديدة موازية لهوامش الكثيب الأمامى يفصلها عنها حوض طولى منخفض، وفى مرحلة تالية تتجمع النباتات ويزداد تراكم الرمال على طول خط حافة الشاطئ وبذلك ينمو كثيب أمامى جديد، وكذا يستمر نمو سلسلة من الكثبان الأمامية المتتابعة تستمد رمالها أساسًا من الكثبان الرملية التى تكونت فى مرحلة سابقة.

ب ـ الكثبان الثانوية Secondary Dunes :

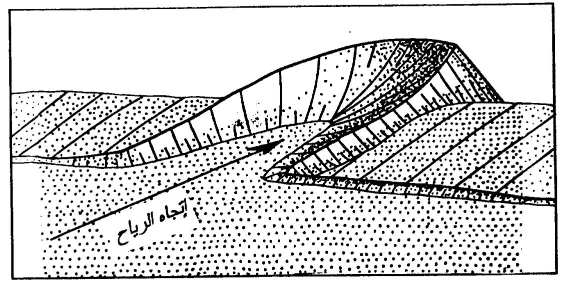
اشتقت رمالها من رمال الكثبان الأولية المقيدة وتظهر فى مناطق ساحلية عديدة فى عروض مختلفة، ولكى ينمو جيدًا فإنها تتطلب رياحًا قوية وكميات من الرمال الشاطئية. ومن أهم أنواعها.

ـ الكثبان المجدوعة Parabolic Dunes :

عادة ما تظهر عندما لا يستقبل الكثيب الساحلى رمالاً جديدة، ويبدأ فى تحركه نحو الداخل، حيث تتلاشى مقدمته بشكل تدريجى ويزداد قرناه طولاً وامتدادًا مفترقان عن بعضهما البعض ومواجهًا للرياح كما يتضح ذلك من الشكل (١٢٢).

شكل رقم (١٢١)

وتعمل عملية التحطيب على إزالة النباتات يساعدها فى ذلك عمليات الرعى الجائر overgrazing والحرائق وغيرها من وسائل التدمير، كل هذه العوامل تؤدى إلى تحويل الكثبان إلى تراكمات رملية سائبة مع تكوين حفر تذرية تلعب الأحياء القارضة دورًا كبيرًا فى حفرها وتوسيعها ـ وخاصة أثناء فترة الجفاف ـ كذلك قد يكون للبحر دور فى تشكيل هذا النمط وخاصة مع زيادة فعالية نحت الأمواج لمقدمته مما يؤدى إلى نمو الحفر وامتدادها نحو الداخل مع ظهور جانب منحدر (٣٠-٣٣ْ) وقرنان ثابتان ثباتًا جزئيا بسبب وجود بعض النمو النباتى فوقهما.



شكل رقم (١٢٢) كثيب مجدوع

ـ النباك :

تبـدو النبكة ككـثيـب هرمى الشكل pyramidal shaped تمتد قـمتـه نحو منصرف الرياح مع ميل طبقاته بعيدًا عن قمته فى اتجاهين مائلين عليها، ومع ذلك فقد أخذ أشكالاً أخـرى مختلفة مثل الشكل القبابى أو المدبب أو البـيضاوى، كما أنها كثيرًا ما تتخذ أشكالاً غير منتظمة فى أبعادها.

والنباك عبارة عن كثبان رملية تعيش مرحلة النشأة الأولى، ونادرًا ما يتجاوز ارتفاعها الثلاثة أمتار وكـثيرًا ما يقل عن نصف المتر. ورغم تعدد أشكال النباك إلا أنها جميعًا تتميز بامتداد محاورها فى موازاة الرياح السائدة، مع تغطية الجزء الأكبر منها بالنباتات.

ويتـمثل دور النبـات فى إعاقـته لحـركـة الرياح المحملة بالأتربة والرمـال، فتخفض سرعتـها وتفقد جزءًا كبيرًا من طاقتهـا وبالتالى تنقص قدرتها على حمل الرواسب أو دفعها مما يؤدى إلى تصيد الرمال sand trapping وترسبها خلف العائق النبـاتى الذى يمثل عنصـر الخشونـة على السطح والذى عمل كـذلك على تقليل سرعـة التيارات الهـوائية على جانبـى الأوراق والفروع مع توليد دوامـات هوائية خلف النبـات مما يزيد من حـجم النبكة (كليـو والشـيخ، ١٩٨٦) ومن ثم تشكل

أكمة أو كثيب صغير هرمى الشكل له ذيل واضح ممتد باتجاه منصرف الرياح lee wind.

وقد أظهرت دراسة (كليو والشيخ، ١٩٨٦) للنباك فى الكويت وجود علاقة قوية بين ارتفاع النبكة من جانب ونوع وارتفاع النبات من جانب آخر، فكلما زاد ارتفاع النبات وزادت أحجام مجموعه الخضرى وزادت حيويته بشكل عام زادت قدرته على تصيد الرمال وتكوين نبكة كبيرة الحجم ومن هذه النباتات العوسج والرطريط. وعندما تقترب النبكات من بعضها البعض تلتحم مكونة مظهرًا تراكميا يطلق عليه محليا اسم القصم فيما يشبه الحافات الرملية الساحلية سابقة الذكر.

وتنتشر النباك فى مناطق كثيرة من السواحل المصرية عادة ما تظهر أكثر ما تظهر عند مصبات الأودية الجافة فى نطاق السبخات المرتفعة تغطيها النباتات الملحية والجفافية وتعمل على تثبيتها، وهى عادة ما تكون صغيرة الحجم يأخذ أغلبها الشكل البيضاوى مع امتداد محاورها فى موازاة الرياح السائدة. وتوجد أشكال دائرية وأخرى غير منتظمة الأبعاد ولا تزيد ارتفاعات معظمها على ٥٠ سنتمتر مع تباعدها عن بعضها البعض بمسافات تصل إلى نحو ٢٠ مترًا، وقد سجل المؤلف مثل هذه الأنماط الرسوبية قرب مصب وادى دهب بخليج العقبة ولاحظ تغطية المساحات التى تخلو منها بقشور ملحية أو سبخات رطبة كما لاحظ امتداد ذيولها بشكل عام نحو الجنوب والجنوب الشرقى.

ـ الكثبان المتحجرة Lithified Dunes :

تبدو أهمية الكثبان المتحجرة (كصخور جيرية أو جيرية رملية) فى كونها تلعب دورًا كبيرًا فى تطور شكل الساحل حيث يعمل البحر على تحويلها إلى جروف وملامح شاطئية أخرى، كما أنها تعمل كثيرًا على حفظ هيئة الكثيب الأولى أمام عمليات التعرية الهوائية والمياه الأرضية، و من هذه الكثبان المتحجرة سلاسل الحجر الجيرى البطروخى الممتدة بلونها الأبيض الناصع على طول الساحل الشمالى من غربى الإسكندرية حتى مرسى مطروح وهى تتكون من حبيبات رملية جيرية متماسكة.

وكثيراً مـا تظهر فى شكل حواجز متـحجرة تمثل كثبانًا قـديمة مثل السلسلة الشماليـة بمنطقة بحيرات مـرسى مطروح والتى شكلت الأمواج وعمليـات التعرية البحرية أوجهها فى ملامح مورفولوجية تشبه ملامح أوجه الجروف السـاحلية.

ويحتاج تحجر الكثبان إلى مناخ رطب بدرجة كافية وذلك لتحليل الكربونات الموجودة بـالرمال. ولكن مع تغـير ظروف المناخ وسـيادة الجـفاف وارتفـاع درجة الحرارة وارتـفاع مـعدلات التبخر تـتمـاسك تكويناتها مع احـتفـاظها بأشكالـها الأصلية. وتظهـر مثل هذه الأشكال فى كـثير من سـواحل العالم مثلمـا الحال فى جنوب شبه الجزيرة العربية والساحل الغربى للهند وجزر موريشيوس وغيرها.

ويقدر بأن احتـواء الرمال على نسبة ٨٪ من جـملة مكوناتها من الكربونات تكفيها للتلاحم مع تعاقب الرطوبة والجفاف. حيث يتم تحجر الرواسب بفعل المواد اللاحمة عن طريق التخفيف أو الانضـغاط اللذين يعملان على تحرر الرواسب من الماء وتناقص حجم الفراغات البـينية باقتراب حبيبات الصخـر من بعضها البعض، وقد لا تتحـجر الرواسب إلا بعد تناقص حجم فراغاتهـا البينية viods بنسبة ٧٥٪ كمـا يعتـمد تركيـز المواد اللاحمـة فى الماء المتسرب على درجـة حرارته ومـعدل حموضته PH وتكوينه الكيماوى (سلامة، ١٩٨٣، ص٩).

السواحل المرجانية Coral Reef Coasts

مقدمة :

التكوينات المرجانية عبارة عن صخور كلسية عضوية نتجت عن ترسيب لكائنات بحرية دقيقة أهمها حيوان المرجان، وتحصل هذه الكائنات على كربونات الكلسيوم من ماء البحر، والتى ترسب بعد موتها فى تراكيب هيكلية skeletals structures غير منتظمة تنمو حولها وخلالها نباتات وطحالب دقيقة، وكل الكائنات الحيوانية والنباتية هذه تعيش فى تكافل كامل من أجل الاستمرار فى النظام الأيكولوجى الساحلى.

ومن الأحياء البحرية هنا الفورما نيفيرا (المثقبات) والرخويات malusscus والأحياء الصدفية shelly organisms وكلها بعد موتها تملأ التراكيب الهيكلية لتكون كتلاً كلسية وتصبح فى نهاية الأمر - مع التحلل الجزئى وإعادة ترسيب الكربونات - شعابا من الحجر الجيرى الشعابى الكتلى massive reef بأشكاله الغريبة شديدة التباين والتنوع مع تراكم مفتتات على جوانبها لعبت الأمواج وعمليات الإذابة والنحت البيولوجى أدوارها فى تكوينها.

وتكمن أهمية المرجان من وجهة النظر الجيومورفولوجية فى طريقة تكوينه للتراكيب التى تأخذ أشكالاً ساحلية متعددة ومختلفة فى خصائصها وأبعادها مثل الأطر المرجانية واللاجونات والحواجز المرجانية والبقع والحلقات وغيرها.

ويجدر بنا أن نضع فى الاعتبار دائمًا أن كل هذه الأشكال المرجانية تمثل نتاجًا لعمليات ترسيب عضوى organic deposition إلا أن عمليات النحت البحرية قد لعبت أدوارًا كبيرة فى تشكيلها وتحديد خصائصها الجيومورفولوجية إلى جانب ما تعرضت له من حركات تكتونية أو إيوستاتية لاحقة لتكونها أدت إلى تغيير الكثير من أوضاعها الأصلية.

١ - العوامل المؤثرة فى النمو المرجانى :

تظهر التكوينات المرجانية على السواحل الغربية من المحيطات الأطلنطى والهادى والهندى فيما بين خطى عرض ٣٠° شمالاً وجنوبًا ويزدهر فى كل من

البحر الكاريبى والخليج العربى والبحر الأحمر وعلى طول الساحل الأسترالى الذى يعد أكبر نطاق مرجانى فى العالم.

وكل هذه المناطق تتميز بخصائص طبيعية تلائم بدرجات مختلفة النمو المرجانى ويمكننا إيجازها على النحو التالى:

ـ درجة الحرارة :

تعد أهم العوامل المؤثرة فى التوزيع الأفقى للتكوينات المرجانية، ورغم أن النمو الأمثل للمرجان يظهر فى مناطق تتراوح درجة حرارتها ما بين ٢٥ و ٢٩° مئوية إلا أنه يمكن النمو فى مناطق تتراوح ما بين ١٦ و ٣٦° مئوية، وعلى ذلك نجد أن النمو المرجانى يرتبط بالبحار الدافئة.

ـ الضوء :

يعد من العوامل الهامة جدا المتحكمة فى التوزيع الرأسى للمرجان وذلك لأهميته فى عملية التمثيل الضوئى ولذلك فإنه ينمو فى المياه الصافية (الشفافة) التى تصل فيها الأشعة الشمسية حتى عمق ٩٠ مترًا، ويعتقد بأنه يزدهر فى المنطقة التى تتراوح أعماقها ما بين صفر و ٢٠ مترًا.

ولذلك فإن التغيرات التى تحدث فى مناسيب مياه البحار وكذلك الحركات الأرضية المختلفة قد أدت إلى الاختلاف فى التوزيع الرأسى للتكوينات المرجانية.

ـ الملوحة Salinity :

تتراوح نسبة الملوحة التى يمكن للمرجان أن يتحملها ما بين ٢٧ و ٤٠ فى الألف وأفضل نسبة ملوحة ملائمة تتراوح ما بين ٣٤ و ٣٦ فى الألف، ولذلك فإن تخفيف ملوحة المياه dilution بواسطة مياه السيول والأنهار عند مصباتها تقاوم النمو المرجانى وتعمل بالتالى على وجود مواضع خالية منه تمثل فى الأغلب نهايات الأودية التى تصب فى البحر وتعمل بدورها على عدم استمرارية (تقطع) الإطار المرجانى، وتعرف هذه المواضع فى مصر بالمراسى لملاءمتها لرسو المراكب والسفن.

ويرى (Bird, E.C., p192) أنه إذا ما زادت نسبة الملوحة على حد معين فإنها قد تكون سببًا من أسباب اختفاء المرجان.

ـ خصائص الأساس الصخرى Substratum :

عادة ما يبدأ نمو المرجان فـوق أساس صخرى صلب أملس، وإن كان يمكنه النمو فوق رصيف حصوى أو فوق رواسب ناعمة، ولكن يصعب تكونه ونموه فوق رواسب متحـركة، لذلك نجده يختفى من أمـام السواحل الغربية لأفـريقيا وبعض سواحل أمريكا بسبب تكون الحواجز الرملية والطينية أمامها وكذلك بسبب عمليات التقليب الرأسى للمياه up welling التى تظهر أمام العديد منها.

ـ الإرساب Sedimentation :

يرتبط بالعامل السابق، فالمرجان قد يتـحمل كمية من الرواسب العالقة التى يمكنها الســماح بوصول الحد الأدنى من الضوء اللازم للنمـو المرجانى ولكن زيادة نسبتها وتراكمها بكميـات كبيرة يؤدى إلى هلاك يرقات المرجان وخاصة فى مراحل حياتها الأولى، ولذلك تختفى التكوينات المرجانية من أمام مصبات الأنهار الكبرى فى العالم بالعروض المدارية، مثل مصب نهر الأمازون ومصب المسيسبى.

ـ حركة الماء :

لا بد للنمـو المرجانى من حـدوث حـركة فى الميـاه وذلك لتوزيع درجـات الحرارة ومنع الإطماء وتـوفير البلانكتون الغـذاء الرئيسى لحيوان المرجـان، وتوفير الأكسجـين اللازم للتنفس، ولكن إذا ما زادت حركة المياه فى شكل أمـواج عنيفة وتيارات قـوية فإن ذلك يكون سـببًا رئيـسيًا فى تدمـير الشـعاب المرجانيـة وموت اليرقات.

٢ ـ الأشكال المرجانية الساحلية :

تتعدد الأشكال المرجـانية بدرجة كبيرة جـدا يصعب معها تقـسيمها تقـسيمًا جامعًا شاملاً، ويعد تقسـيم دارون لها فى ثلاثة أقسام (الأطر والحواجز والحلقات) تقسيمًا مبسطًا للغاية لنظام طبيعى شديد التعقيد.

وفيما يلى تقسيم الأشكال المرجانية مع الأخذ فى الاعتبار أن هذا التقسيم يعتمد على الشكل أكثر من اعتماده على النشأة (Davies, J.L., p68).

جدول رقم (١٤) الأشكال المرجانية الرئيسية

الشكل المرجانى	الخصائص
اطر مرجانية	ملاصقة للشاطئ أو منفصلة عنه بقناة ضحلة
أرصفة مرجانية	بعيدة عن الشاطئ يفصلها عنه قناة عميقة
بقع مرجانية	صغيرة المساحة وغير منتظمة الشكل
حلقات مرجانية محيطية	تتوسطها بحيرة عميقة
حلقات رفرفية	كبيرة / صغيرة } بحيرة ضحلة فى الوسط

عن Davies, 1978

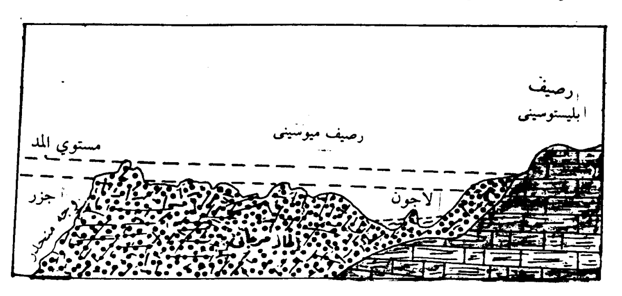
ورغم بساطة هذا التقسيم إلا أنه أكثر تفصيلاً من تقسيم دارون وأكثر توضيحًا. ورغم ذلك فإن من أهم عيوبه أن بعض الأشكال الكبرى تتضمن داخلها أشكالاً أصغر منها مما يؤدى إلى تعقيدها وحاجتها إلى إعادة تصنيف، فالأطر المرجانية يمكن أن تنقسم إلى العديد من الأقسام الثانوية على أساس وجود أو عدم وجود قناة بينها وبين الشاطئ أو على أساس انكشافها أو عدم انكشافها أمام الأمواج البحرية: كما أن الحواجز المرجانية قد تقسم أيضًا حسب درجة استمراريتها استمرارًا أفقيا أو تبعاً لدرجة تعقيدها، فبعضها مثلاً يمتد فى شكل خطوط شعابية شريطية والبعض الآخر يمتد كبقع، وبالنسبة للحلقات المرجانية فإنها تعد أكثر تعقيدًا من القسمين السابقين وخاصة من حيث النشأة وتطور أشكالها وخصائصها المورفولوجية.

وفيما يلى معالجة تحليلية مختصرة للوحدات المرجانية الكبرى وفقًا لتقسيم Darwin مع دراسة لبعض الوحدات الثانوية التى أشير إليها فى التقسيم سابق الذكر.

أ ـ الأطر المرجانية Fringing Reefs :

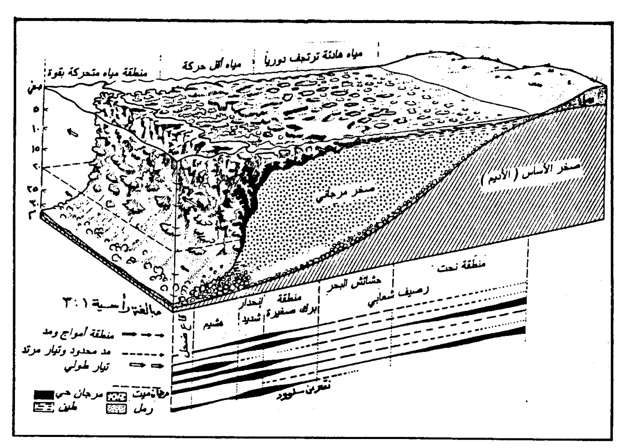
تعد أبسط الأشكال المرتبطة بالشعاب المرجانية وأكـثرها انتشاراً، حيث توجد فى كل مناطق النمـو المرجانى فـى العالم. تمتـد تلك الأطر عادة مـلاصقـة لخط الشـاطئ، أو قـد تكون ممثلة لخط الشـاطئ نفـسه مـع نموها نموا رأسيـا وأفـقيـا (Thornbury, W.D., 1969, p560) وتظهر كرصيف مرجانى يظهر (ينكشف) أثناء فتـرات الجزر، وغـالبًا ما تبـدو متقـطعة أمام مـصبات الأودية أو عـلى السواحل الصدعية الجرفية.

يتراوح اتسـاع الإطار المرجانى ما بين بضـعة أمتـار وأكثر من ١٠٠٠ مـتر تتمثل أهم خصائصـه الجيومورفولوجية فى شدة انحدار جـبهته التى تطل بها على مياه البحـر والتى تتميز بتكويناتها من المرجـان الحى والرمال ذات الأصل المرجانى التى تظهر فى شكل ركامى، وتنحدر جبهته بدرجات انحدار تتراوح بين ٢٥ و٤٠ درجة عادة مـا تظهر حافة مـرتفعة من تكوينات مرجـانية حية ورمـال تعمل على حمايـته من الأمواج شكل رقم (١٢٣)، أما بقـية سطح الإطار فتكثر به الـشقوق والتجويفات وتنتشر عليه الرواسب الرملية والحصوية التى تعطيه مظهراً غير منتظم.



شكل رقم (١٢٣)

ويتضح من الشكل الـتالى رقم (١٢٤) رسم توضحى لإطار مـرجانى على الساحل الشمالى لخليج العقبة يبلغ سمكه ٣٠ متراً يمكننا أن نعرف منه ما يلى:-



شكل رقم (١٢٤)

ـ سطح الحاجز الذى ينقسم إلى نطاقات حسب درجة التأثر بالمياه مع ظهور ملامح سطحية تعطيه مظهرا غير منتظم.

ـ حافته (جبهته) التى يطل بها على المياه العميقة وحركة تيار الشاطئ أمامها.

ـ الحد الأدنى للضوء الأمثل.

ـ ركامات رملية عند حضيض الحافة والتى تتميز بانحدارها الشديد.

ـ صخر الأساس والمرجان الميت والمرجان الحى والتكوينات الطينية.

ـ يلاحظ أيضًا تتابع النطاقات التالية من اليمين إلى اليسار.

وتبادل نقل الرواسب ونطاق البرى abrasion ونطاق حشائش البحر ونطاق البرك والمناقع (محـدودة المساحة) الانحدار الشديد وتراكم الرمـال والحصى - وقاع الشاطئ (للاستزادة راجع Sellwood, B.W, 1978).

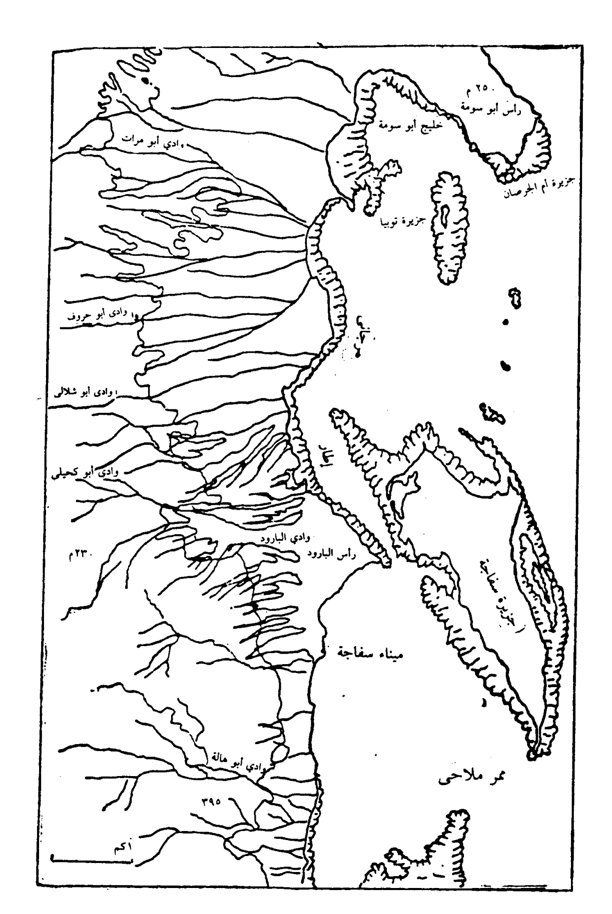
وتظهر الأطر المرجانية ملاصقة لمعظم سواحل البـحر الأحمر فى مصر وكما ذكرنا فـإنها تتقطع أمام مـصبات الأودية الجافـة القادمة من المرتفعـات، ويختلف اتساعه هنا تبعًا لطبيعة السـاحل والظروف المحيطة به، فعلى سبيل المثال نجده يتسع لأكثـر من خمسـة كيلومتـرات إلى الجنوب من ميناء سفـاجة كمـا يظهر ذلك من الشكل التـالى رقم (١٢٥) الذى يوضح امـتـداد الإطار المرجـانى ملاصـقًا لخط الشاطئ من رأس أبو سومـة حتى رأس البارود. بينما نجـده يختفى جنوب الرأس السابقة حتى مصب وادى أبو أصالة فى منطقة الميناء ليظهر على طول الساحل إلى الجنوب منه بارزًا فى اتجـاه جزيرة سفـاجة فى شكل بروز مرجـانى طوله خمـسة كيلومـترات مع إحاطة الجزيرة إحـاطة تامة بالإطار المرجانى كمـا يتضح ذلك من الشكل (١٢٦).

ب - الحاجز المرجانى Coral Reef Barrier :

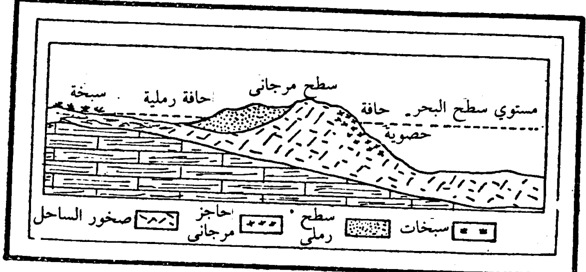
يمتد بعيـدًا عن خط الشاطئ بمسافة تزيد عادة على ٣٠٠ متـر منفصلاً عنها بواسطة قناة عميقة وخالية من المرجـان تمتد امتدادًا طوليا باتساع يتراوح بين ٣٠٠ متر وعدة كيلومترات.

أما عن سطح الحاجـز المرجانى فيتميز بتـغطيته بتكوينات مرجانيـة ميتة ومع كثـرة الشقوق والتجـويفات وخاصـة قرب هوامشه والتى كـثيرًا مـا تمتلئ بالرمال والمفتتات المرجانية والأصداف.

ولا يزيد اتساع الحاجز المرجانى المثالى على بضع مئات من الأمتار ولا يظهر منه سوى أجـزاء محـدودة أثناء الجزر. وهو فى نشـأته الأولى عبارة عـن ترسيب عضـوى فوق أساس صخـرى (حافة غاطسـة) عند أعماق قد تصل إلى أكـثر من تسعين مترًا (Butzer, K.W., 1976, p237) وهو بذلك يشبـه الإطار المرجانى فى نـشأته، ومع ذلك قـد يتطور الحاجز المرجـانى عن طريق النمو الأفـقى أو الجانبى latteral growth للإطار المرجانى وذلك بعـد أن يلتحم بخط الشاطئ يسـاعده فى ذلك أن تكون القناة الفاصلة ضحلة وضيقة نسبيا مما يساعد على وجود نمو مرجانى بقاعها ينمو بدوره نموا رأسيا وأفقيا.


٢٥٠ م
راس أبو سومة
خليج أبو سومة
جزيرة أم الجرصان
جزيرة توبيا
وادي أبو مرات
وادى أبو حروف
وادى أبو شلالى
وادي أبو كحيلي
وادي البارود
راس البارود
٢٣٠ م
جزيرة سفاجة
ميناء سفاجة
ممر ملاحى
وادي أبو هالة
٣٩٥
١كم

شكل رقم (١٢٥)



شكل رقم (١٢٦)

ويقسم علماء الأوقيانوغرافيا سطح الحاجز المرجانى إلى ثلاثة نطاقات كما يظهر ذلك من الشكل السابق (١٢٦) يمكن أن نوجزها تبعًا ذكرة (sharma, R.C., 1970, p25) فيما يلى:

النطاق الرملى:

يظهر مطوقًا للبحيرة الطولية (القناة) تشتق رماله من مواد كلسية وشظايا مرجانية تأتى من قاع القناة بواسطة الأمواج أو قد تشتق من صخور السطح المرجانى موضعيا، وإذا ما كانت الأمواج عنيفة فإنها قد تزيل هذا النطاق وتنقل رماله إلى النطاق الحصوى والجلمودى خاصة إذا ما كان سطح الحاجز متسعًا، أما إذا كان ضيقًا فتنقل هذه الرمال بفعل الأمواج إلى البحر أو إلى القناه أو تملأ بها الشقوق والفجوات.

نطاق الجلاميد Boulder belt :

يظهر أمام النطاق الرملى ويتكون من مفتتات صخرية أكبر حجمًا وأقل فى درجة تلاحمها وهى من نفس مكونات الرمال، وقد لعبت الأمواج الدور الرئيسى فى تكوينها وتشكيلها ويتراوح ارتفاعه ما بين المتر والثلاثة أمتار فوق سطح البحر كما أنه قد يمتد حتى القناة فى حالة ضيق الحاجز وذلك على حساب اختفاء النطاق الرملى.

مسطح الشعاب Reef Flat :

يظهر واضحًا على سطح الحاجز تكثر به الشقوق والفجوات ونادرًا ما يظهر مستويًا وغالبًا ما ينكشف أثناء الجزر.

وعندما تختفى الحواجز المرجانية أثناء حدوث المد فإنها تمثل بذلك خطرًا داهمًا أمام الملاحة البحرية بهذه المناطق وذلك فى حالة عدم توفر سبل الأمان المرتبطة بالخبرة والدربة والمعرفة التامة بكل خصائص وأبعاد الساحل المرجانى وتوافر العلامات الإرشادية الملاحية فوق الجزر مثلما الحال على جزر مضيق جوبال.

ويمكن الاستدلال على الحاجز المغطى بمياه المد من خلال تكسر الأمواج بعيدًا عن الشاطئ إلى جانب اللون الظاهرى الفاتح للمياه فوقه مما يدل على ضحولتها وخاصة مع الشفافية العالية للمياه المرجانية.

ب ـ الحلقات المرجانية Atolls :

تبدو بيضاوية الشكل على هيئة حدوة الحصان horse show shape أو قريبة من الشكل الدائرى تحصر داخلها بحيرة لا يزيد عمقها فى الأغلب على عشرة أمتار. تنتشر هذه الأشكال المرجانية المميزة فى كل من المحيطين الهندى والهادى بعضها كبير الحجم مثل جزيرة سوفاديفا وهى ضمن جزر المالديف يبلغ طول حاجزها المرجانى ١٩٠ كيلومترا وطول البحيرة الوسطى ٦٠ كيلومترا (Davies, J.L, P 710).

ويبلغ عدد الحلقات المرجانية وفقًا لما أحصاه (Cloud, 1958) نحو ٣٢٠ حلقة تقع كلها ضمن النطاق الهندى ـ الهادى عدا خمس فقط تقع خارج هذا النطاق. وقد حدد (Fairbridge, 1950) ثلاثة أنماط من الحلقات المرجانية هى:

ـ الحلقات المرجانية المحيطية Oceanic Atolls :

وترتبط بشكل عام بالأشكال البركانية، توجد قواعدها عند أعماق تزيد على ٥٥٠ مترًا وهى أكثر الحلقات شيوعًا وخاصة غربى المحيط الهادى وفى بحر المرجان وبحر تسمانيا الشمالى أهمها حلقات ميدلتون واليزابيث وجلبرت[1].

---

(١) تعد جزيرة ديدالوس المصرية بالمياه العميقة بالبحر الأحمر أقرب شبها من هذه الحلقات وإن اختلفت عنها من حيث النشأة والشكل.

ـ الحلقات المرجانية الرفرفية shelf Atolls :

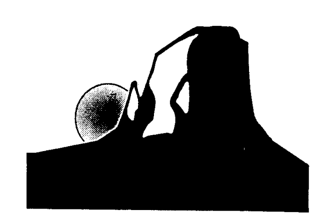
تظهر فى مناطق الرفارف القارية، ومن مناطقها الساحل الشمالى لأستراليا ومنها حلقة scott التى تعد فى واقع الأمر نتاج التحام لحلقتين إحداهما حلقة مكتملة النمو تأخذ شكل شبه دائرى تحصر داخلها بحيرة والثانية فى شكل حدوة الحصان (غير مكتملة) توجد داخلها بحيرة متصلة بالمياه العميقة ويبلغ عمقها ٤٥ متراً.

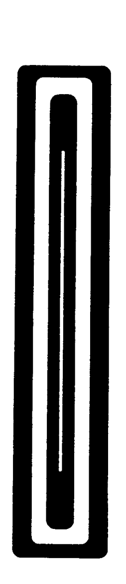
ويمكن اعتبار البقع المرجانية reef patchs الموجودة فى مضيق جوبال وأمام ساحل البحر الأحمر أنواع من هذا النمط وإن كانت غير منتظمة فى أبعادها وتختلف عن الأولى فى نشأتها.

ـ الحلقات المركبة Compound Atolls :

تتمثل بوضوح فى مجموعة هوثمان أبرولهوس وتتكون من أرصفة مرجانية معقدة مع بقايا من الأشكال المرجانية البارزة فى شكل أعمدة أو كتل صخرية ترجع إلى البليستوسين وينتشر مثل هذا النمط أمام ساحل البحر الأحمر وخاصة فيما بين رأس حمسة وسفاجة (للاستزادة ومعرفة نظريات نشأة الشعاب المرجانية والحلقات يمكن الرجوع للمؤلف، ١٩٩١).

الفصل التاسع





التعرية الجليدية
[العمليات والأشكال الأرضية المرتبطة بها]

مقدمة :

عندما تنخفض درجة الحرارة عن الصفر المئوى يتكثف بخار الماء ويتجمد فى شكل بلُّورات ثلجية crystals of snow تتساقط فوق سطح الأرض، وعادة ما يحدث ذلك فى مناطق عديدة بالعروض العليا وذلك فى فصل الشتاء، وإن كان جليد الشتاء عادة ما ينصهر فى فصل الصيف الذى يعقبه، وعندما يتبقى جزء من الجليد دون أن ينصهر - جليد الشتاء - يتحول إلى غطاءات جليدية مستديمة[1] مثلما هو موجود فى جزيرة جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية - أنتاركتيكا - وفوق قمم الجبال العالية مثل جبال الهيمالايا وكولن وقراقورم والإنديز والروكى وغيرها.

ويطلق على المستوى الذى توجد عنده الغطاءات الجليدية glacial covers بخط الثلج الدائم snow line منسوبة بين ٦٠٠٠ متر فى العروض الاستوائية ومستوى سطح البحر بالعروض القطبية.

وعادة ما يتم تراكم الثلوج على سفوح قليلة أو متوسطة الانحدار moderate slopes، أما السفوح شديدة الانحدار steeper slopes فإنها لا تستطيع أن تحتفظ بالثلوج المتراكمة فوقها مع اضطراد زيادة معدلات التراكم السنوى بالكيفية سابقة الذكر، ومن ثم فإنها كثيرًا ما تكون مصدرًا للانهيارات الجليدية avalanches التى تعمل بدورها على تراكم الثلوج فى مناطق منخفضة عند أقدام السفوح شديدة الانحدار، ومع زيادة التراكم الجليدى فى هذه المناطق المنخفضة يزداد الضغط على الطبقات الثلجية السفلية مما يؤدى إلى اندماج جزيئاتها وتصلبها وطرد الهواء من مسامها وتحولها إلى جليد.

ويطلق على المنطقة البينية التى يتراكم بها الجليد تعبير حوض جليدى firn (neve) ومع تحرك الجليد وما يحمله من مفتتات صخرية يزداد هذا الحوض عمقًا

---

(١) يظهر الجليد فى ثلاث صور رئيسية هى الغطاءات الجليدية والثلاجات (الأودية الجليدية) أو أنهار جليدية تمتد عند أقدام المرتفعات.

ويزداد طولها بشكل مضطرد (تدريجى) إلى أن ينتهى به الأمر فى شكل فجوة عميقة تفصلها عن فجوات عميقة أخرى مجاورة حافات حادة (مسننة) seirrated ridges نتجت - كما سيتضح لنا ذلك بالتفصيل فيما بعد - عن عمليات الحت الجليدى (البرىabrasin) وكذلك عن إطالة هذه الفجوات التى تعرف بالحلبات الجليدية cirques.

وعادة ما نجد سفحًا شديد الانحدار أسفل الحوض الجليدى مباشرة مما يساعد على تحرك الجليد فى شكل نهر جليدى glacier (ثلاجة) تتميز جوانبها بشدة انحدارها ويتميز قاعه بالاستواء، وقد يصل سمك الجليد القابع أو المتحرك داخل الوادى الجليدى إلى أكثر من ١٠٠٠ متر مع اتساع للوادى نفسه يزيد أحيانًا على خمسة كيلومترات تلتقى به أودية (أنهار) جليدية أعلى منسوبا تعرف بالأودية المعلقة.

وبطبيعة الحال تقل سرعة تحرك الجليد بشكل كبير فهو فى تحركه بطىء للغاية قد لا يزيد معدل سرعته على عشرين مترًا فقط فى ٢٤ ساعة (اليوم) مع ملاحظة أن سرعة الجليد وسط واديه أكبر منها على الجانبين وذلك بسبب احتكاكه بالجانبين.

وجدير بالذكر أن العديد من الأشكال الأرضية الجليدية سواء أشكال نحتية مثل الأودية الجليدية والحافات المسننة والأودية المعلقة أو أشكال ناتجة عن الإرساب الجليدى مثل الدروملين والكام والإسكرز والكتل الضالة وغيرها تمثل فى الحقيقة ظاهرات موروثة من العصر الجليدى الذى شهد فترات جليدية تقدر بأربع فترات هى الجنز والمندل والرس والفرم تخللتها فترات ما بين الجليد inter glacial peri-ods وقد تركت عمليات التعرية الجليدية التى نشطت كثيرًا فى البلايستوسين آثارها سابقة الذكر فى الكثير من المناطق التى لا تتعرض الآن لظروف التجمد. حيث كان الجليد يغطى فى البليستوسن ما يزيد على ٤٢ مليون كيلومتر مربع[1] فى أوربا حيث الغطاء الجليدى الفنوسكاندنافى الرئيسى فى القارة ومراكز الغطاءات

(١) حيث انخفض معدل الحرارة بالأرض إلى نحو ٦ درجات مئوية عنه الآن وكان ذلك كفيلاً بحدوث الجليد.

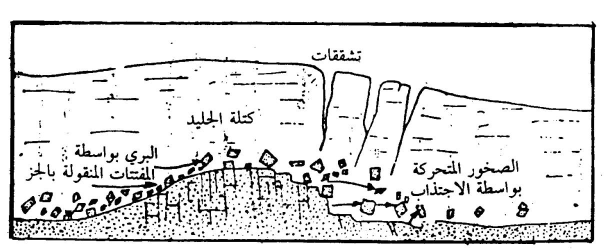
الجليـدية الأخرى فـوق جبـال الألب وشرق أوربا حـتى الأورال وهضبـة فرنسـا الوسطى وغيـرها وفى أمريكا الشمـالية حيث كـانت كندا كلها مـغطاة بالجليد مع استثناءات محدودة من أراضيها وكذلك غطى الجليد مساحات واسعة من الولايات المتحدة وخـاصة فى الغرب والشمال الشـرقى، وقد امتد الجليـد حتى خط عرض ٤٠ْ تقريبًا[١] من مراكز تجمـعه الرئيسية فى كندا. وفى آسيـا غطى الجليد السهول السيبيرية حتى خط عرض ٦٠ْ شمالاً (خط الصفر الحالى) وغطى أجزاء واسعة من مرتفعـات وسط القارة ومناطق متفرقـة من جنوبها الشرقى. وفى أفريقيـا اكتشف Gregory آثار التعرية الجليـدية فى مرتفعات شرق القارة وخـاصة على منحدرات الجبال العـالية مثل كلمنجاور وكـينيا ورونزورى. وفى نصف الكرة الجنوبى غطى الجليد كل قارة أنتاركتيكا التى مازالت مغطاة حتى الآن وغطى كذلك أجزاء واسعة من شرق أستراليا وجزر تسمانيا ونيوزيلند.

(١) كان للجليد مراكز رئيسية فى كندا منها جليد كيواتن والباتريشى ولبرادور.

أولاً. الأشكال الناتجة عن النحت الجليدى

تبـدأ مـرحلة النحت الجليـدى glaciation بعمـلية جذب والـتقاط للـمواد الصخرية المفتتة plucking ثم احتواء الجليد لهذه المفتتات والتى عادة ما تكون نتاج عمليات تجوية ميكانيكية سابقة تعـرضت لها صخور قاع الوادى الجليدى وجوانبه، ومع ثقل الجليد وضغطه عليها أثناء تحركه[1] يزداد تفتت هذه الصخور وخاصة مع احتكاكها ببعضها البعض فى عملية تعرف بعملية طحن المواد الصخرية attrition.

ويتم نقل المفـتتـات الصخـرية بواسطة الجليد عن طريـق الجر traction أو بالسحب والتعلق suspension كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٢٧).



شكل رقم (١٢٧)

وتتـمثل أهم الأشكال الأرضـية الناتجـة عن عـمليات النحت الجليـدى فى الوادى الجليدى glaciers الذى عادة مـا يأخذ شكـل حرف U وما به مـن ملامح جيـومورفـولوجية عـديدة، والوادى المعلق hanging valley والحلبات الجـليدية cirques والقمم الهـرمية والحـافات المسننة arete or seirrated ridges والصخور

---

(١) يطلق على طريقة الـنحت الناتجة عن قوة ضـغط الجليد وثقله على الصخـور التى يتحرك فـوقها تعبـير scouring ويعنى الحت الجليدى.

المحززة والتى تعـرف بالصخور الغنمـية roches moutonnes والفـيوردات fiords وغيرها مما سيتضح بالتفصيل فيما بعد.

وفيما يلى دراسـة للظاهرات الجليدية الرئيسية قبل معالجـة الأشكال التحاتية الجليدية وتتـمثل أساسًا فى الوادى الجليـدى وثلاجات حضيض السـفوح والأودية المعلقة.

أ ـ الوادى الجليدى Glacier :

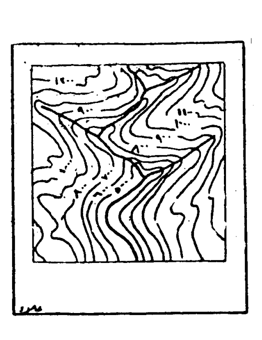
عبـارة عـــن نـهـر جـليـدى يـمتـد فى شـكل لسان باتجـاه أقدام السـفوح، وعادة ما تتخير الأودية الجليدية فى امتـداداتها الأخوار والأنهار لتنتهى بمصباتها فى البحار مثلما الحال فى العروض العليا أو نحو سهول منخفضة.

ويتحرك النهر الجليدى كما هو الحال مع النهر المائى فى مجرى محدد الأبعاد ولكن حركتـه تكون عادة شديدة البطء، حيث تتراوح سـرعته ما بين سنتيـمترين ونصف إلى متر ونصف تقريبًا كل ٢٤ سـاعة. وقد أثبتت الدراسات العديدة التى قام بهـا المتخصـصون فى علم الجلاسـيولوجى glaciology والجيومورفـولوجيا أن السرعة وسط المجرى الجليدى عادة ما تكون أكبر من السرعة عند الجانبين ؛ وذلك لأن الجليد يفقـد جزءًا من طاقته نتيجة لـلاحتكاك الذى يتم بين سطحه والأسطح الصخـرية بالجانبين، وهو فى ذلك يمـاثل الأنهار المائية، ويسـتمد النهـر الجليدى مكوناته من الجليد، من أحواض التجمع الجليدى neve التى تقع عند منسوب خط الثلج الدائم، وتتوقف أحجام الأودية الجليدية وأطوالها على مساحة أحواض تجمع الجليد، كما تعتمد كذلك على كـمية الثلوج الساقطة على طول مجرى الوادى وما تأتى به الأودية المعلقة (روافده) عـند التقائها به وتعتـمد كذلك على ظروف المناخ بالمناطق التى تمتد خلالها.

وتبدو نهايات الأودية الجليدية (أعاليها) snouts فى شكل أودية مقعرة -con cave، يأخذ قطاعه الـعرضى شكل حرف U حيث يشتد انحدار جـانبيه نحو قاعه الذى يتمـيز باستـوائه النسبى. والوادى الجليـدى يتميـز بشكل عام بقصـر قطاعه الطولى حـيث إن وادى التش Aletsch الذى يعد أطول الأودية الجليـدية وأشهرها

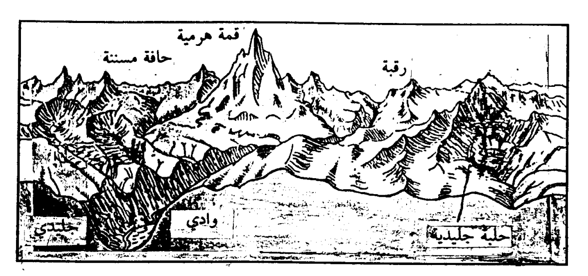
بجبال الألب الأوروبية لا يتعدى طوله ستة عشر كيلومترا وتتمثل بداية هذا الوادى فى مجموعة من الأحواض الجليدية تحيط كل حوض منها حواجز من القمم المرتفعة وأهم هذه الأحواض حوضا يونجفراو Jungfrau ومونش Monch ويتجمع جليد كل هذه الأحواض فى حقل ثلجى واسع هو حقل كونكورديا بلاتز Kon-kordia platz الذى يوجد على منسوب نحو ٣ آلاف متر فوق مستوى سطح البحر وينحدر منه لسان جليدى باتجاه الجنوب متمثلاً فى نهر إلتش الجليدى الذى يحده حائطان شديدا الانحدار نحو قاعه (صفى الدين، ١٩٧٦، ص٣٠٦). وتتميز الأودية الجليدية كذلك باستقامتها وعدم تعرجها حتى ولو كانت تمتد فى وادى نهرى سابق متعرج، حيث تعمل من خلال قوة ضغطها على إزالة أى ملامح مرتبطة بعمليات التعرج والانعطاف النهرى السابق محولة المجرى إلى نمط مورفولوجى آخر مختلف تمامًا.

ويوضح الشكل التالى (١٢٨) أحد الأودية الجليدية بالعروض العليا يلاحظ منه اتساع الوادى بين خطى كنتور ٢٠٠ متر مع استقامة واضحة لمجراه وانحدار شديد للجانبين نحو القاع، يلاحظ منه كذلك التقاء أحد الأودية المعلقة بالوادى الرئيسى من الجانب الأيمن. كما يظهر من الشكل رقم (١٢٩) أحد الأودية الجليدية تحده حافات مسننة وتظهر بأعاليه قمم هرمية py-ramidal peaks مع وجود حلبات جليدية تشغل قيعانها بحيرات، ويلاحظ من الشكل السابق أيضًا أودية معلقة تلتقى بالوادى الرئيسى وترتفع مناسيب قيعانها عن منسوب قاعه الذى تظهر به رواسب ركامية عملت على عدم استواء القاع.



شكل رقم (١٢٨)

وعادة ما تظهر تشققات أو تصدعات فى سطح الجليد قد تكون طولية وعرضية تعرف بالصدوع الجليدية crevaces تتكون مع تغير انحدار النهر الجليدى



شكل رقم (١٢٩)

من الخفيف إلـى الشديد أو قد تحدث فى حالة تـغير سرعة أجـزاء الكتلة الجليدية حيث تتـعرض بسبب ذلك إلى نوع من الشد والتـمزق السطحى فتتكـون الشقوق العرضية مع زيادة انحدار أرض الوادى الجليدى بينما تتكون الصدوع الطولية الممتدة فى موازاة اتجاه حركة الجليد فى حالة تغاير سرعـة الحركة ، وكثيراً ما تتقاطع هذه الشقوق إذا ما اشتد انحدار النهر الجليدى بشكل مفاجئ (صفى الدين، ص١٠٣). ويتكون حـينئذ ما يـعرف بالمسقط الجـليدى ice fall الذى تظـهـر عنده الشقـوق العميقة.

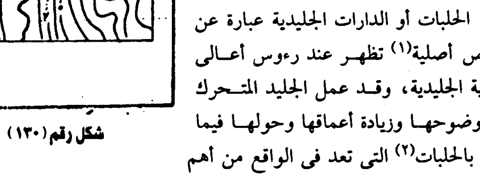
ب ـ الأنهار الجليدية (ثلاجات حضيض السفوح piedmont glaciers) :

عندما تنحدر الأنهار علـى سفوح الجبال حتى أقدامهـا تخرج منها من نقطة تغير الانحـدار امتدادات (ألسنة) جليدية قد تتصل ببـعضها البعض اتصالاً جـانبيا لتندمج فى الأرض المنخفضـة عند أقدام السفوح مكونة كتلاً جليـدية واسعة داخل واد واحد تعرف باسم الكتل المندمجة coalescing glaciers، تظهر مثل هذه الكتل الآن فى القارة القطبيـة الجنوبية وفى شبه جـزيرة ألاسكا حيث ثلاجة Malaspina عند أقدام جبال سانت إلياس المنحدرة نحو المحيط الهادى والتى يبلغ سمك الجليد بها أكثر من ٣٠٠ متر.

جـ ـ الأودية المعلقة Hanging Valleys :

الوادى المعلق عـبارة عن رافـد جانبى للوادى الجليـدى الرئيـسى وقد حـفر مجـراه على منسـوب أعلى بحيث يلتـقى بوادته الرئيسى (الـوادى الجليدى) عـبر مسقط جليدى ice fall، ومن المحتمل أن مثل هذه الأودية قـد نتجت بهذا الشكل

بسبب التـزايد المستمـر فى تعميق الوادى الرئيـسى، وفى نفس الوقت فإن الوادى المعلق يحتوى على كمية أقل من الجليد والـتى أحيانًا ما يختفى منه، ومن هنا فإن تعميقه يكون بمعدل أقل بكثيـر من معدل نحت الوادى الرئيسى لمجراه بحيث يبدو مصـبه شديد الانحدار نحـو قاع الوادى فى منطقة الالتـقاء. كمـا يظهر ذلك من الشكل السابق رقم (١٣٠).



شكل رقم (١٣٠)

أما عن أهم الملامح والأشـكال الناتجة عن النحت الجليدى فتتمثل فى كل من:

١ ـ الحلبـات الجليـدية Cirques: والحافات المسننة والقمم الهرمية .

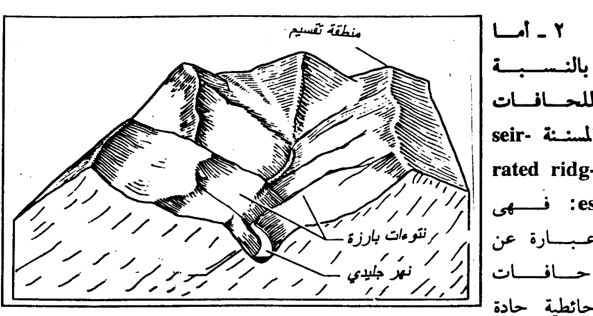
الحلبات أو الدارات الجليدية عبارة عن أحواض أصلية[١] تظهـر عند رءوس أعـالى الأودية الجليدية، وقـد عمل الجليد المتـحرك على وضوحهـا وزيادة أعماقها وحولهـا فيما يعرف بالحلبات[٢] التى تعد فى الواقع من أهم الملامح الناتجـة عن النحت الجليدى حـيث لا تكاد تختـفى من أية منطقة تـسودها التعرية الجليدية،ويوضح الشكل التالى (١٣١) منطقة جـبلية تظهر بها حفر ضحلة قبل تعرضها للنحت الجليدى ثم تطورها وتحولها إلى حلبات.

وتنقسم الحلبات الجليدية الحالية من الجليـد ـ بعد انصهاره ـ إلى ثلاثة أقسام أو أجزاء، المنطقة الحوضية (قاع الحلبة) ثم الحافات المحيطة بها ثم العتبة المؤدية إلى الوادى الجليدى.

---

(١) يرى البعض أنها كان عبارة عن حفر أولية ثم تعرضت بعد ذلك للنحت الجليدى الجانبى والرأسى مما أدى إلى اتصالها ببعضها البعض وتكوين الحلبة.

(٢) تشبه الملاعب الرياضية ومدرجاتها حيث تحاط من مـعظم جوانبها بحافات رأسية شديدة الانحدار وتعرف بالألمانية kar وفى أسكتلندا باسم corrie وفى إسكندنافيا kiedel.



شكل رقم (١٣١)

٢ - أما بالنسبة للحافات المسننة seir-rated ridg-es: فهى عبارة عن حافات حائطية حادة تفصل بين الحلبات الجليدية المتعمقة تتميز جوانبها بشدة انحدارها نحو الجانبين باتجاه قاع الحلبتين الجليديتين التى تفصل بينهما.

ويظهر الشكل رقم (١٣٢) المنطقة السابق توضيحها بالشكل رقم (١٣١) وقد تحدبت قمتها وتحولت إلى قمة هرمية pyramidal pear بدلاً من الشكل المستدير الذى كانت عليه قبل سيادة عمليات النحت الجليدى لها، كذلك تظهر منه حافة مسننة تفصل بين حلبتين جليديتين عميقتين تتميز كل منها بشدة انحدار جوانبها.

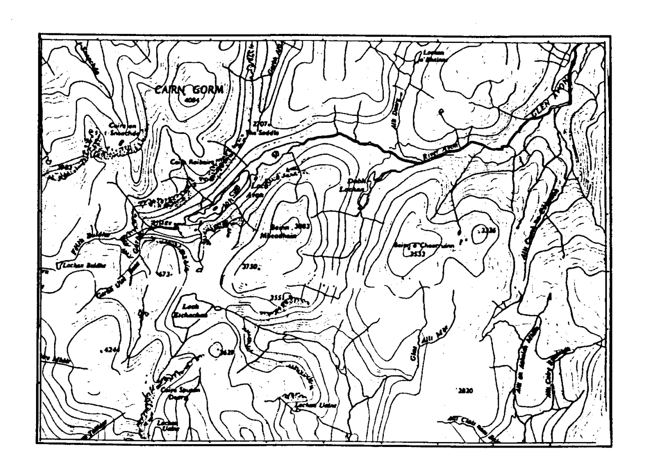
شكل رقم (١٣٢)

وبشكل عام عندما تتجاور أكثر من حلبة جليدية تنشأ قمم منشورية أو هرمية الشكل، وكثيرًا ما تتعرض الحافات المسننة للتمزق والتلاشى مع زيادة عمليات النحت الجليدى الرأسى والجانبى داخل الحلبات الجليدية.

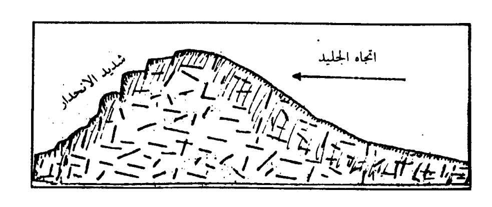
٣ ـ أما بالنسبة للعتبة الجليدية Threshold : فتوجد فى المنطقة الواقعة ما بين الحلبة الجليدية والوادى الجليدى، تتميز بارتفاع منسوبها (منسوب القاع) حيث ينحدر الجليد متحركًا فوقها باتجاه الوادى الجليدى غالبًا ما يكون فى شكل سقوط جليدى ice fall ويرى الجيومورفولوجى الأمريكى Lewis, W.V أن العتبة الجليدية قد تكونت بسبب ضعف عمليات النحت الجليدى فوقها حيث إن ثقل الجليد وضغطه عليها يكون أقل بكثير من ضغطه على قاع الحلبة الجليدية والذى يؤدى كما رأينا إلى زيادة تعمقها بحيث يتخلف عن انصهاره تكون بحيرات بهذه القيعان وتعمل العتبات على منع تدفق مياهها باتجاه انحدار مجرى الوادى الجليدى.

٤ ـ الحوض الصخرى Rock Basin : عبارة عن حفرة فى القطاع الطولى للوادى الجليدى تتكون نتيجة لقدرة الجليد على الحركة إلى أعلى بسبب الضغط، وعادة ما تظهر فى أعالى الأجزاء العليا من الوادى وتختلف عن حقول الجليدى neve سابقة الذكر. ينتج عند انصهار الجليد تكون بحيرات طولية تحتل قيعان هذه الأحواض تعرف بالبحيرات الشريطية ribbon lakes مثل تلك البحيرة الواقعة فى أعالى نهر جلين أفون Glin Avon والتى تتجه نحو الشمال الغربى بطول مفرط مع انحصارها بين خطوط كنتورية شديدة التقارب من بعضها البعض (صبرى محسوب والشريعى، ص٢٠١). راجع الشكل التالى رقم (١٣٣).

٥ ـ الصخور المحززة (الصخور الغنمية) Roche Moutonnes : تظهر هذه الصخور بشكلها المحزز فوق قيعان الأودية الجليدية بارزة فى أشكال محدبة نتجت بهذا الشكل بسبب عدم قدرة الجليد على إزالتها أثناء نحته الرأسى لقاع الوادى، ويبدو أثر اندفاعه فوقها واحتكاكه بها فى ظهور جانبها المواجه لأعالى الوادى الجليدى فى شكل أملس مصقول ومستدير ، بينما تظهر التحززات والخدوش على الجانب منها المواجه للمصب والذى يظهر فى شكل مجعد شديد التحزز sriated وشديد الانحدار كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (١٣٤)؛ويرجع ذلك التحزز إلى أثر عملية الاحتكاك الجليدى وضغطه عليها والتقاطه للمفتتات الصخرية منها.

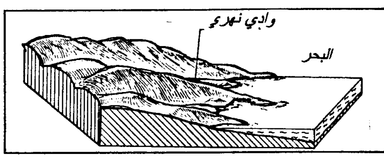


شكل رقم (١٣٣)

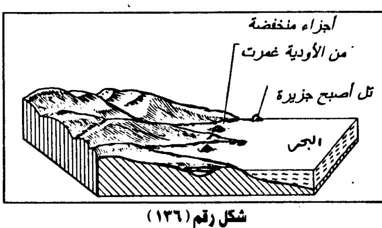


شكل رقم (١٣٤)

٦ ـ الفيوردات Fiords: تمثل فى أغلب الأحوال مصبات الأودية الجليدية بالبحار والمسطحات المائية التى قد تصل إليها، ويمكننا أن نتتبع تطور مثل هذه الملامح الجيومورفولوجية (الفيوردات) من الشكلين التاليين رقم (١٣٥) ورقم (١٣٦)، فالشكل (١٣٥) يوضح المنطقة الساحلية المرتفعة أثناء سيادة عمليات التعرية الجليدية، حيث تصبح الأودية أكثر اتساعًا وأكثر عمقًا. وبعد اختفاء الثلاجات وارتفاع منسوب البحر ـ نتيجة لانصهار الجليد ـ تغمر الأجزاء الدنيا من المصب التى تتميز بجوانبها شديدة الانحدار، ويلاحظ من الشكل رقم (١٣٦) أن الماء داخل الفيورد أعمق منه عند مدخله باتجاه البحر، وتتميز سواحل الفيوردات بشدة انحدار جوانبها وزيادة أعماقها وهى بذلك تختلف عن سواحل الريا أو المصبات الخليجية.



شكل رقم (١٣٥)



شكل رقم (١٣٦)

وعادة ما تقع سواحل الفيوردات فى نطاق سيادة الرياح العكسية الغربية westerlies وفى الجوانب الغربية من القارات حيث شهدت هذه المناطق كما رأينا تغطية جليدية سميكة أثناء البلايستوسين منها الجليد الفنوسكاندى وجليد جرينلاند وغيرها.

(*) يرى البعض أن الفيوردات قد تكونت بسبب تعرض تلك السواحل لحركات تكتونية وأصبح هذا الرأى قديمًا أثبتت الدراسات الحديثة أن الجليد هو العامل الرئيسى فى تكوينها وإن كان هذا لا يمنع تأثر بعضها باتجاه الخطوط الصدعية.

ومن أشهر سواحل الفيوردات سواحل شيلى وخاصة فى المنطقة الساحلية المقابلة لخليج أرشيبلاجو وسواحل جرينلند وسواحل النرويج وكولومبيا البريطانية.

ثانيا ـ الأشكال الأرضية الناتجة عن الإرساب الجليدى

يتم ترسيب المواد الصخرية المنحوتة من الجبال بواسطة الأودية الجليدية فى مواضع مختلفة من مجرى الوادى فقد تترسب داخل مجرى الوادى ذاته أو تترسب عند مصبه، وعندما تتراكم هذه المفتتات عند المصب تظهر فى أشكال إرسابية مميزة مثل الحافة الطولية التراكمية المعروفة باسم الركام النهائى terminal morain والذى يؤدى تراكمه إلى حجز المياه أمامه باتجاه منبع الوادى الجليدى لتتكون بذلك بحيرة حوضية طولية الشكل، ومع استمرار عمليات الترسيب بقاع هذه البحيرة تتلاشى فى نهاية الأمر تاركة سهلاً بحيريا بقاع الوادى الجليدى.

ومن مظاهر الإرساب الجليدى فى الأراضى السهلية المنخفضة ما يعرف بالركام الأرضى ground morain أو بسهل التل till plain يتميز مظهره العام بالتموج مع ظهور انبعاجات وتقعرات خفيفة فوق السطح.

وتوجد كذلك ظاهرة الكثبان الجليدية (الدروملينز) drumlins وذلك فى شكل تجمعات تعلو سطح الركام النهائى يبدو مظهرها العام فى تجمعات فتاتية تأخذ شكل تلال منخفضة مستديرة circular أو قبابية domal متباينة فى أحجامها وأبعادها قد يصل طول بعضها إلى نحو الكيلومترين بارتفاع مائة متر، عادة ما تمتد محاورها فى اتجاه حركة الكتل الجليدية داخل الوادى.

ومن أشكال الإرساب الجليدى أيضًا الصخور الضالة erratic rocks وهى عبارة عن كتل صخرية كبيرة الحجم توجد فى مناطق مختلفة تمامًا عن نوع صخورها حيث تم جلبها بفعل الثلاجات (الأودية الجليدية) من أعاليها بالمنحدرات الجبلية العليا، وكثيرًا ما تظهر بها الخدوش والتحززات التى تدل على أثر احتكاكها بالجليد الذى نقلها بعيدًا عن مصادرها.

كذلك تمتد أشكال إرسابية على طول مجرى الوادى الجليدى تعرف بالركام الجانبى lateral morain تظهر قرب جوانبه وفى محازاتها. وعندما تلتحم (تندمج)

الركامات الجانبية لنهرين جليديين عند التقائهما يتكون ما يعرف بالركام الأوسط medial morain كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٣٧). وتعد ظاهرة الكام Kames من ظاهرات الإرساب الجليدى المتميزة التى تبدو فى شكل تلال أو ربوات متموجة تتكون من مفتتات رملية وحصوية تأخذ أشكالاً مخروطية أو دالات مروحية غير منتظمة تنتشر كثيراً فى السهول الوسطى بالولايات المتحدة الأمريكية.

وتعد الحافات الطولية المعروفة بالإسكرز eskers من ظاهرات الترسيب الجليدى النهرى glacio fluvial تبدو فى الطبيعة طولية الشكل وعادة ما تتكون من رمال خشنة وحصى جيد التصنيف.

شكل رقم (١٣٧)

وفيما يلى دراسة تفصيلية لأهم الأشكال والملامح الأرضية الناتجة عن الإرساب الجليدى:

أ ـ الركام الجليدى Glacial Morains :

تنقسم الركامات الجليدية إلى الأنواع التالية :

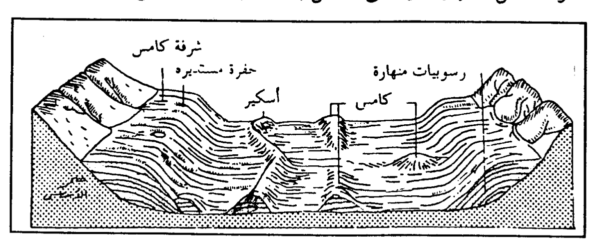
١ ـ الركامات الجانبية Lateral Morains :

تتمثل فى الرواسب والمفتتات الصخرية التى تتساقط من جوانب الوادى الجليدى بفعل عمليات التجوية الفيزيائية والانهيارات الجليدية avalanches وتتراكم هذه الرواسب فى شكل خطوط طولية متقطعة على جوانب الوادى الجليدى، وقد تظهر فى أحد الجوانب دون الجانب الآخر تعتمد فى ذلك على طبيعة الصخور المكونة لجوانب الوادى الجليدى وعلى مدى توفر المواد الصخرية المفككة كما أن الأنهار التى تشغل الوادى الجليدى فى مرحلة لاحقة بعد انصهار الجليد تعمل فى كثير من الأحوال على تقطيع هذه الركامات أو تعمل على إزالتها بفعل ما تقوم به

من عمليات نحت جانبى. وأحيانًا ما تـترك هذه الركامات بينها وبين حافة الوادى مناطق منخفضة تشغلها بحيرات طولية صغيرة تتكون بعد انصهار الجليد.

٢ ـ الركام الأوسط Medial Morain :

يظهر هذ الشكل من أشكال الإرساب الجليـدى عندما يلتقى واديان جليديان أو أكثر فى مجـرى واحد، كما أنها قد تظهر فى مـجرى الوادى الجليدى فى حالة التحام ركامان جـانبيان وهى كطبيعة الرواسب الجليدية تتكون من مفـتتات صخرية مختلفة فى حجم حباتهـا وغير مصنفة بشكل جيد شكل رقم (١٣٨). وفى أغلب الأحوال تعمل الأنهار المائية التى تتشكل بعد انصهار الجليد على إزالتها.



شكل رقم (١٣٨)

٣ ـ الركام النهائى Terminal Morain :

الركامـات النهائيـة عبـارة عن مفتـتات صـخرية تترسب عند نـهاية الوادى الجليدى بعد أن ينصهر الجليد مما يدل على حدوث عملية الترسيب عند نهاية النهر الجليـدى وكـانت تعـرف فـيـمـا مضـى بالركـامات الـتراجـعـيـة recessional morains، ويتوقف تكون الركامات النهائية على عدة عوامل تتمثل أهمها فى الفترة التى تستقر فيهـا الجبهة الجليدية المتحركة دون أن تتحرك وكميـة المفتتات الصخرية التى تنقلهـا الثـلاجة (الـوادى الجليدى) وقـدرة النهـر الجليـدى على نحت المواد

الصخرية بنفس السرعـة التى تتراكم بها هذه المواد (صفى الدين، ص٣١٤) وعلى ذلك نجد أنه ليس شـرطًا أن تتكون هذه الركامات النهـائية عند نهايات (مصـبات) كل الأودية الجليدية.

ويوضح الشكل التـالى رقم (١٣٩) امتداد نطاق من الركـامات النهـائية من الشمال الشرقى إلى الجنوب الغربى.

ثالثًا- الإرساب الجليدى النهرى Glaciofluvial Deposition :

يوجد العديد من الأشكال الأرضيـة التى تنتج عن انصهار الجليد وتدفق الماء الناتج عن هذا الانصهار فى شكل أنهار مائية تحتل مجارى الأودية الجليدية وتعمل هذه المياه على إعادة تصنيف الرواسب الجليدية - التى تم ترسـيبها بفعل الجليد فى مرحلة سابقة - بدرجة تتناسب مع طول المسافة التى قطعـها النهر قبل القيام بعملية الترسيب.

وتعرف الأشكال الناتجة عن الإرساب بالطريقة السـابقة بأنها أشكال رسوبية جليدية نهرية، وأهمها الكام والإسكرز والكتل الضالة والكثبان الجليدية وغيرها.

وفيما يلى إيجاز خصائص هذه الأشكال الجليدية النهرية :

١ - الكام Kames :

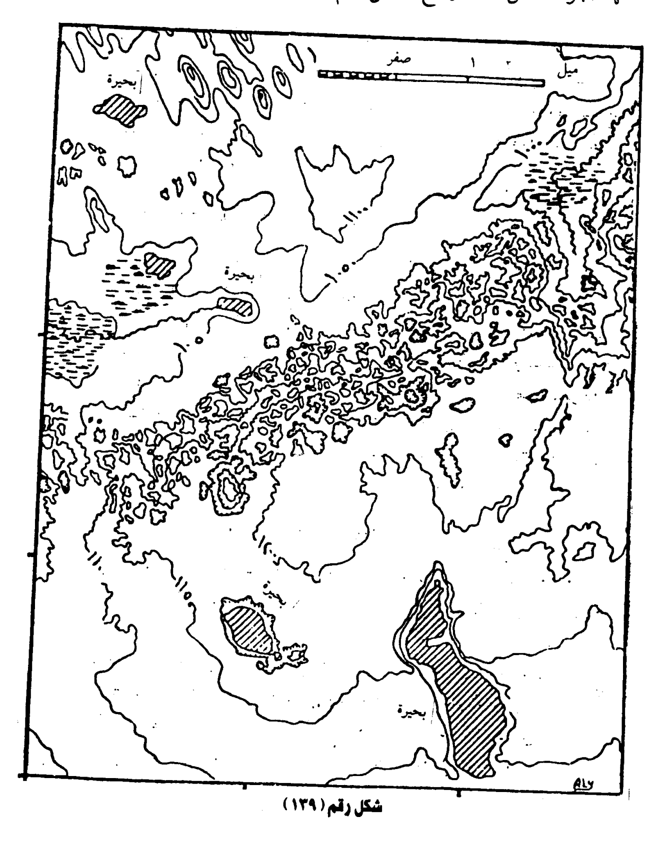
تبدو فى شكل تلال صغيرة تتكون من مفتـتات جليدية نهرية جيدة التصنيف يعتقد بأنهـا قد أرسبت فى أول الأمر فوق أسطح جليديـة أو على جوانب مجارى جليدية فى المناطق المنخفضة منها[١].

وتعرف تلال الكام أحيانًا بدالات الكام Kames deltas ومعظم تكويناتها من الرمال والحـصى،وعندما تظهر فـوق سطح الأرض فإنهـا تتسبب فى عـدم انتظامه

---

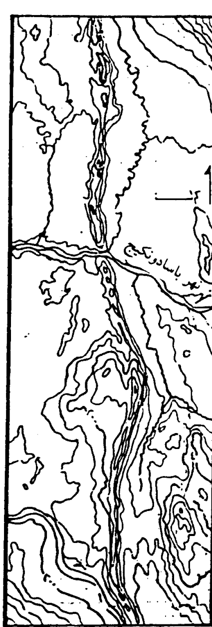
(١) يعتقد بأنها ترسبت فى بداية الأمر فوق سطح الجليد فى بعض التجويفات المستديرة التى تظهر فوق سطح الجليد أو فى الشقوق.

وتنتشر كـثيراً مثل هذه الظاهرات والأشكال فى سـهول أمريكا الشمالية وشمالى غربى أوروبا مـع تميزها بوجود تجـويفات ومنخـفضـات ضحلة على طول امـتداد قممها (جودة، ص٤٥٢) راجع الشكل رقم (١٣٧).



شكل رقم (١٣٩)

٢ ـ الإسكرز Eskers :



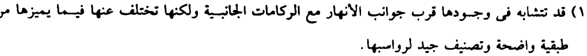
شكل رقم (١٤٠)
اسكر يعرف باسم انفيلد هورسباك

تبدو كمـا يظهرها الشكل التالى رقم (١٤٠) فى شكل حافات طولية ضيقة narrow ridge تتكون من الرمـال والحصى ممتـدة على طول قـاع مجـرى مائى، وقـد تم ترسيبهـا بعد انصهار الجليـد حيث قامت المياه الجارية بإعادة تشكيلها وتصنيف رواسبها بحيث أصـبحـت تلك الـرواسـب جيدة التـصنيف تتـخذ شكل الطبـقـات وتبدو حـبيـبـاتها الرمليـة والحـصوية بيـضـاوية الشكل مما يدل على حـدوث عمليـة دحرجة rolling واسـتدارة لهـا من خـلال تحركها كحمولة قاع bed load للنهر.

وعادة ما يكثر وجـود الإسكرز قرب جوانب الأنهار المتـعرجـة فى امتدادها كـانعكاس لانعطاف القناة النهرية التى شكلتها[١].

٣ ـ الكتل الضالة Erattic Blocks :

عبـارة عن جلاميـد وكتل صخـرية تم نقلها بواسطة الأنهـار الثلجـية من مناطـق بعيـدة (المنابع العليا لتلـك الأنهار) وتضعـها فى أماكن بعـيدة عن مصـادرها الأصلية حيث كثـيراً ما تظهر على سـبيل المثال كتل جرانيـتية يصل وزنها إلى آلاف الأطنان فى مناطق مكونة جيولوجـيا من صخور رسوبية من الحجـر الجيرى أو الرملى. معنى ذلك أن هذه الكتل تختلـف فى نوع صخورها عن المحـيط الذى توجد به؛ومن ثم سـميـت بالكتـل الضـالـة أو الشاذة، وكثيراً ما تظهـر منتشرة فى مساحات واسعة



(١) قد تتشابه فى وجـودها قرب جوانب الأنهار مع الركامات الجانبـية ولكنها تختلف عنها فيـما يميزها من طبقية واضحة وتصنيف جيد لرواسبها.

من سهـول أوربا وفى ولاية داكوتا الشـمالية بالولايات المتـحدة الأمـريكية وولاية منسوتا وكثيرًا ما تقف كعقبات أمام النشاط الزراعى بتلك المناطق.

ويعد أجاسيز Agaceiz, L أول من أطلق عليـها هذا الاسم ووجـودها فى الحقيـقة يعد دليـلاً مفيدًا بالنسـبة للمتخـصصين حيث يسـاعدهم كثيـرًا فى تتبع اتجاهات حركات الجليد ومعرفة امتداداته.

٤ ـ الكثبان الجليدية Drumlins :

عبارة عن كـدوات طولية تتكون من جلاميد ومـفتتات دقيـقة من الصلصال تمتد محـاورها الطولية باتجاه تحـرك الغطاء الجليدى المسئول عن تكونـها، وتتراوح أحجامهـا تراوحًا كبيرًا، فقد تظهر فى شـكل ربوات صغيرة فى بعض المواضع ، بينما يصل طولهـا إلى نحو الكيلومـترين فى مواضع أخـرى مع ارتفاع يزيد على تسعين مترًا، وعندما تظهر فى أعداد كـبيرة فإن مظهرها العام فى هذه الحالة يعرف بتضاريس سلال البيض basket of eggs relief حيث إنها تبدو كبيض مطمور فى الرواسب لا يظهر إلا النصف الأعلى منه،ومن ثم فإن السطح الذى تظهـر به يتميز بالتموج وعدم الانتظام.

وبالنسبة لمصدر الرواسب التى تكونت منها الكثبان الجليدية فإنها غير معروفة وإن كان من المحتمل أنها تمثل مفتتات من الركامات الأرضية ground morains.

وتوجد فى أيرلندا الشماليـة وشمال إنجلترا (فى وادى إيدن Eden Valley) أشهر الكثبان الجليدية فى العالم وتظهر الكثبان الجليدية كذلك فى ولاية وسكونسن قرب ماديسون وفى جنوب بحيرة أونتاريو وسط ولاية نيويورك وفى ولايتى منسوتا وداكوتا الجنوبية.

ويظهر من الشكل التـالى رقم (١٤١) مجمـوعة من الكثبان الجليـدية غرب ولاية نيويورك لاحظ أحجامها وامتداد محاورها.

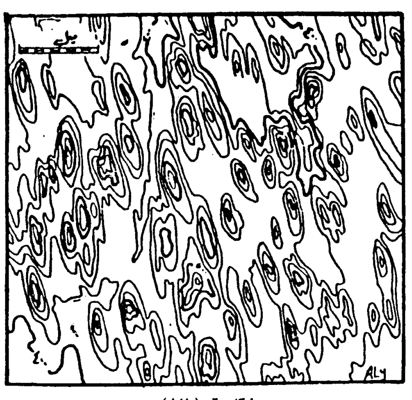
(*) يتمثل الفرق بـينهما فى كون الأولى ترسبت تحت جليد مـتحرك ، أما الثانية فقـد تكونت وترسبت بعد انصهار الجليد.

٥ ـ رواسب الجلاميد والحصى (سهول الحريث أو العزقة) **Till Deposits** :

عبارة عن رواسب مكونة من الصلصال الناعم المختلط بالجلاميد الصخرية وعادة ما توجد بصفة خاصة عند نهايات الغطاءات الجليدية حيث يتعرض الجليد عندها للانصهار أسرع من أى جزء آخر منه مما يؤدى إلى إرساب المواد التى يحملها فى شكل سلسلة من التلال والتى إذا ما ترسبت فوق سطح غير منتظم فإنها تؤدى إلى انتظامه والعكس إذا ما ترسبت فوق سطح مستوى فإنها تؤدى إلى عدم انتظامه وتموجه.

ويعرف الصخر المكون لسهول التل (الحريث) بالتليت أو صخر الحريث tillite.

وقد استطاع علماء الجلاسيولوجى من خلال دراسة توزيع رسوبيات الحريث (العزق) للثلاجات القديمة أن يميزوا بين عدة فترات جليدية أثناء الزمن الرابع (البليستوسين).



شكل رقم (١٤١)

اشكال رسوبية جليدية خارج نطاق الجليد الدائم

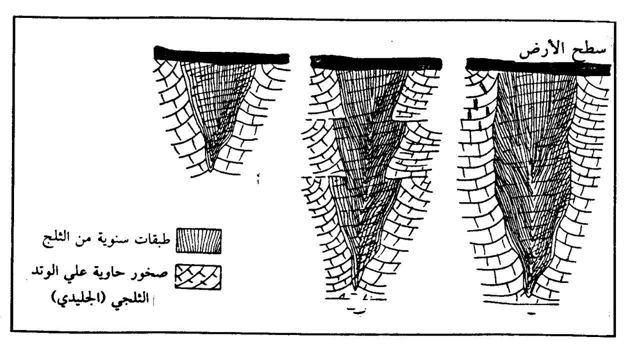
تتشكل بعض الملامح التضاريسية الإرسابية فى العروض ذات المناخ البارد بسبب تتابع عمليات التجمد والذوبان التى تتعرض لها التربة فى هذه العروض ويظهر فى كثير من هذه المناطق نطاقان من التربة أحدهما وهو الأول يتأثر بانصهار الجليد فى فصل الربيع ويعرف بنطاق التجمد الموسمى perenially frozen zone

والنطاق الثانى ويعرف بنطاق التجمد الدائم perma frost وأحيانًا ما يعرف بنطاق الصخور الباردة المتجمدة cryolithic zone(*).

وأهم ما يرتبط بذلك من ملامح مـا ينتج عن سيلان التربة solifluxion من أشكال مثل مدرجات انزلاق التربة terraces of altiplanation وتظهر فى المنحدرات الجبليـة الخالية من الغطاء النبـاتى وتدفقات صـخرية فيـما تعرف أحـيانًا بمصطلح block train بمعنى قطار من الكتل الصخرية.

وتوجد كذلك تضاريس تنتج عن تشقق التربة المتجمدة وامتلاء هذه الشقوق برواسب خشـنة أو قد تتـعرض للتـعريـة المائيـة التى تـؤدى إلى تـوسيـعها فيتكون ما يعرف بالأشرطة الحجرية stone ribbons وتضاريس نتوئية خشنة تشبه تضاريس الكدوات. ومن الأشكال أيضًا المرتبطة بتشقق التربة شقوق الصقيع المضلعة fissure frost polygons والتربة ذات البناء المضلع poly gonalstructure.

وهناك ما يعـرف بالوتد الجليدى ice wedge ويتكون فى شقـوق التربة التى تمتلئ بالمياه التى تتـعرض للتجمـد فى فصل الشتاء، ومع تكرار التـجمد والذوبان يتكون الوتد الجليدى كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (١٤٢).

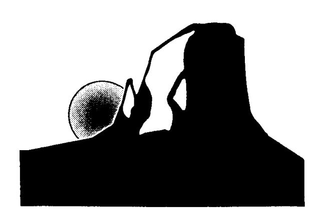


شكل رقم (١٤٢)

(*) تعنى كلمة Cryos اليونانية «برد».



الفصل العاشر





الإنسان ودوره فى تشكيل سطح الأرض

[أثره فى العمليات والأشكال الجيومورفولوجية]

مقدمة :

الواقع أن التفاعل بين الإنسان والمكان الطبيعى عملية بالغة التعقيد لدرجة يصعب تمامًا بل يستحيل كثيرًا متابعتها وقياس نتائجها.

والإنسان فى تفاعله ـ كأحد مدخلات البيئة الطبيعية ـ مع سطح الأرض يعمل فى الحقيقة على إعادة توزيع المادة والطاقة المختزنة بحيث يتم حدوث تغير فى حجمها وأبعادها وتغير أيضًا فى عمليات تشكيلها المرتبطة بالطاقة وصور تحولها.

وتدخل الإنسان بدرجات مختلفة يعنى حدوث تغيرات وتعديلات متباينة قد تصل إلى ظهور أشكال أرضية ترجع بكاملها إليه بحيث يمكننا القول أنها من صنعه دون غيره من عمليات طبيعية مثل حفر المناجم أو فوهات القنابل وعمل العديد من السفوح الاصطناعية artificial slopes والأنفاق التحتية والقنوات المائية وهبوط مواضع من سطح الأرض كنتيجة لعمليات استخراج السوائل من مياه وبترول وغيرها الكثير من الأشكال التى تعد من صنع الإنسان man made land forms.

وكل هذه الأشكال ترتبط أساسًا بنشاطات الإنسان المختلفة وطموحاته فى تكييف البيئة تبعًا لما يريد، غير قانع بمعطياتها، فزراعة الإنسان للأرض تؤدى إلى تعرض التربة للانكماش مما ينعكس على عدم قدرتها على تشرب المياه كذلك كثيرًا ما يحدث مع تكرار السير فوق التربة خلق ممرات أقدام foot paths تنتهى بتكوين جريان سطحى محلى وبالتالى حدوث تعديل بشكل كبير فى النظام الهيدرولوجى لسطح الأرض مما ينعكس بدوره فى شكل سلسلة من التغيرات فى أشكال سطح الأرض.

وتؤدى عمليات قطع الغابات deforestation إلى تعرية التربة وتعرضها بشكل حاد لعمليات الانجراف كما سيتضح ذلك بالتفصيل خلال صفحات هذا الفصل.

كذلك نجد أن التوسعات العمرانية وامتدادات المدن تؤدى إلى زيادة المسطحات الأرضية المرصوفة (الكتيمة) وبالتالى حدوث تغيرات فى ميزان المياه بمنطقة الحوض النهرى يتمثل عادة فى زيادة معدلات الجريان السطحى وغير ذلك من تغيرات أبرزها إزالة كميات ضخمة من المفتتات الصخرية المكونة لسطح الأرض.

وقد حاول المؤلف أن يحدد إطارًا عمليا يعالج داخله دور الإنسان فى كل عملية جيومورفولوجية على حدة وما يرتبط بها من أشكال موضحًا صور هذا التدخل واختلافه زمانيًا وأثر ذلك على حدوث تعديلات وتغيرات فى أشكال سطح الأرض وإظهار العديد منها والذى ارتبط فى نشأته بالإنسان دون غيره من عمليات طبيعية أخرى.

وقد أخذ المؤلف فى اعتباره تعقد التغيرات التى أوجدها الإنسان وسرعة معدلاتها بشكل يفوق مئات المرات المعدلات الطبيعية فى عمليات التشكيل وخاصة مع الوسائل المتقدمة التى يستخدمها الإنسان فى تدخلاته المختلفة والتى تزداد تأثيراً مع تقدم الإنسان وزيادة متطلباته من بيئته.

وفى هذه الدراسة أيضًا يجب علينا ألا نعتبر الإنسان عاملاً جيومورفولوجيًا كما يحلو للكثيرين هذه التسمية فالإنسان أكبر بكثير من ذلك فلا يمكن لنا أن نقارنه مثلاً بنهر أو بتيار يجرى، فلكل عامل عملياته المحددة وأشكاله المميزة، والإنسان ككائن حى مؤثر بشكل لا نظير له لا يرتبط فى تأثيره الجيومورفولوجى بدورة تعرية أو بشكل معين أو أكثر من شكل أرضى ولا يلتزم بعملية جيومورفولوجية بعينها أو أشكال بذاتها حيث يؤثر فى كل أشكال سطح الأرض وعمليات تشكيلها بدرجات مختلفة.

وعلى ذلك فقد عالج المؤلف أثر الإنسان على أشكال سطح الأرض من خلال نشاطاته وممارساته المختلفة وكيف أخل بكثير من العمليات الطبيعية وإدراكه لذلك ليقوم بمحاولات لاحقة لإعادة التوازن لعمليات التشكيل الجيومورفولوجية داخل نظمها الطبيعية، مثلما حدث مع الأنهار والسواحل وهبوط سطح الأرض وغيرها كما سيتضح تفصيلاً فى هذا الفصل.

أولاً - الإنسان ودوره فى عمليات التجوية وأشكالها الأرضية:

يلعب الإنسان من خلال ممارسته للعديد من الأنشطة المختلفة أدوارًا رئيسية فى زيادة فعاليات عمليات التجوية وتنوع الأشكال الأرضية الناتجة عنها سواء كان ذلك بشكل مباشر أو غير مباشر.

تتمثل أهم الأدوار البشرية المباشرة فى إحداث تجوية للصخور وتفتيت لها من خلال ما يمارسه الإنسان من نشاطات زراعية وتعدينية ونشاطات مرتبطة بعمليات التحجير quarrying والحفر dredging والإنشاءات المختلفة إلى جانب ما تخلفه الحروب من آثار تدميرية موضعية مثل الحفر الناتجة عن إلقاء القنابل والتفكك الذى تتعرض له الطبقات الصخرية السطحية من خلال حركة المجنزرات والمركبات وغير ذلك من العمليات الحربية.

فمن خلال ممارسته للنشاطات الزراعية يقوم بحرث التربة وتقليبها، ومن ثم يعرضها للتفتت وخاصة مع تطور وسائل التقنية المستخدمة من آلات ميكانيكية ثقيلة، وينتج عن ذلك بالتالى سهولة انجراف التربة وتعريتها بفعل الرياح أو بفعل مياه المطر ومياه الرى.

وجدير بالذكر أن تربية الحيوانات تعمل على تفكك التربة من خلال اقتلاعها للنباتات من جذورها وعمل حفر فى الأرض إلى جانب أن وجودها بأعداد زائدة يؤدى إلى حدوث ضغط على التربة واندماج لجزيئاتها (تصلبها) مما يؤدى بدوره إلى تناقص فى طاقة التشرب infiltration capacity.

وتوجد الكثير من الحيوانات التى تعمل على إحداث خندقة أرضية (تخدد التربة) بجانب ما تقوم به من رعى جائر overgrazing تقضى من خلاله على النباتات التى تعمل على تماسك الرواسب والأشكال الرملية. مما يؤدى إلى تفكك هذه الأشكال تفككًا موضعيا بحيث تصبح صيدًا يسيرًا - فى مرحلة لاحقة - لعمليات التعرية الهوائية أو المائية.

(*) يقدر بأنه كل عام تجرف مياه المطر والرى ما يعادل ٧٥ بليون طن من التربة المنتجة والتى تجد طريقها نحو البحار والواقع أنه من الصعب تعويض التربة المنجرفة وخاصة إذا عرفنا أن طبقة من التربة سمكها ٢,٥سم تحتاج لتكوينها ما بين ١٠٠-٢٥٠٠سنة تبعًا لنوع التربة بينما انجرافها لا يستغرق أكثر من ١٠سنوات. (الساعاتى، ص٤٥).

والحقيـقة أن هناك العديد من التقنيـات الزراعية التى ترتبط بعمـليات تجوية حـادة للصـخور سـوف تـدرس تفصـيلاً فى مواضـع لاحـقـة من هذا الفصل مثـل ما يقوم به الإنسان من تدريج لسفوح التلال hill slope terracing من أجل زراعتها وما يتـرتب على ذلك من تغير فى خـصائص السفح وإزالة كـميات ضخـمة من صخوره. ولنا أن نتـصور مدى ضخـامة هذه العملية إذا ما عـرفنا أن تحول سطح انحداره نحو ١٥ درجة إلى مدرجات عرضها نحو المترين تعنى إزالة آلاف الأطنان من صخور السطح الأصلى مع الأخذ فى الاعتبـار وجود علاقة طردية بين كميات المواد الصـخريـة المنقولة (المزالـة) ودرجة انحـدار السـفح المطلوب زراعـته بهـذه الطريقة، بمعنى أبسط كلما زادت درجة انحدار السفـح احتاج تدرجه إزالة كميات أكبر من المواد الصخرية.

وإذا كنا نعرف أن الغطاء النباتى الـطبيعى يعد من أفضل سبل حـماية التربة من الانجراف، فـإن إزالة أشجار الغـابات وإحلال زراعة المحـاصيل محـلها يعنى بدوره كشف التربة وتعريتها، على سبيل المثال نجد أن (Morgan, 1974) قد لاحظ حدوث نحت للتربة فى مناطق زراعة المحاصيل فى منطقة كمبردج شاير بلغ معدل تخفيض السطح نتيـجة لذلك وفقًا للقياسات التى قام بهـا ٢٥, ملليمترا خلال أيام قليلة فى مساحة تجريبية قدرها ٣,٣ هكتار.

كذلك قام (Doglas, 1967) بحسـاب كميات الـرواسب الناتجة عن النحت بسبب إزالة الغابات فى جـزيرة جاوة فوجدها قد ارتفعت معـدلاتها من ٩٠٠متر مكعب لكل كيلومـتر مربع فى السنة فى عام ١٩١١ إلى ١٩٠٠مـتر مكعب لكل كيلومتر مربع فى السنة عام ١٩٣٤ وذلك بعد إحلال زراعة المحاصيل الحقلية محل الغابات المدارية هناك (White, L.D, etal, 198, p450).

ولا ننسى هنا ما يقوم به المزارعون وسكان المناطق الريفية من تجريف للطبقة السطحية الخصبة من التربة بسمك قـد يزيد على المتر فى مساحات واسعة مما يؤدى إلى حدوث تدمير للتربة وإزالة لا يمكن أن يعادلها فى السرعة أية عمليات طبيعية مهـما كانت طاقـتها. وهـذا ما كان يتم فى مناطق كـثيرة مـن الوادى والدلتا فى مخالفة صريحة للقوانين وذلك بهدف صناعة الطوب وغير ذلك من استخدامات.

ـ عمليات التحجير والتعدين Quarrying and Mining Processes :

عرف الإنسان عمليات التحجير منذ فترات زمنية قديمة، ففى عصور ما قبل التاريخ prehistory ارتبطت كثير من الكهوف man made caves والحفر بعمليات التحجير التى مارسها الإنسان فى تلك الفترات القديمة، واستمر الإنسان حتى الوقت الحاضر فى ممارسة هذا النشاط لسد حاجاته من تلك الصخور لاستخدامها فى البناء أو رصف الطرق وغير ذلك.

وهو فى ممارسته لذلك النشاط وغيره من أشكال الصناعات الاستخراجية الأخرى يقوم بتعديل سطح الأرض وتكوين أشكال أرضية من صنعه سواء منها ما هو هدمى (نحتى) من الحفر pits والكهوف سابقة الذكر أو إرسابى مثل تراكمات الصخور بعد نقلها كما سيتضح لنا بالتفصيل فيما بعد.

ولتوضيح أثر ما سبق على سطح الأرض نجد على سبيل المثال أن استخراج الطباشير فى منطقة إيست أنجليا ببريطانيا فى العصور الوسطى قد خلف وراءه ٣٠ ألف حفرة وبركة، ويقدر بأنه فى بريطانيا يتم سنويًا حفر ثمانية كيلومترات مربعة من الأرض لاستخراج الرمل والحصى وأربعة كيلومترات مربعة لاستخراج الطباشير والحجر الجيرى ونحو ١,٨كيلومتر من أجل الحصول على الطفلة، وكل تلك العمليات تدخل إذا صح التعبير ضمن عمليات التفكك الميكانيكى البشرى للصخور من أجل سد حاجة صناعة الطوب فى المقام الأول. ولا يتوقف الأمر هنا على تشكيل حفر وأشكال فتحات أخرى ولكنه يتمثل فيما يستخرج منها ـ من الحفر ـ من رواسب ومخلفات تبدو فى أشكال مورفولوجية واضحة نتيجة لكبر أحجامها.

كذلك يؤدى استخراج الملح الصخرى rock salt من باطن قشرة الأرض إلى حدوث هبوط أرضى نتيجة لتفريغ القشرة من جزء من مكوناتها، ويؤدى ذلك أيضًا إلى تكوين برك مائية ملحة وإلى غير ذلك من آثار.

وقد قدر بأن تحجير الحجر الجيرى فى تلال منديب Mendip Hills فى منطقة سومرست Somerset ـ حيث يتم إزالة آلاف الأطنان ـ يؤدى إلى حدوث نقص فى المواد الصخرية يقدر بـ ٨٠٠متر لكل كيلومتر مربع من مكاشف طبقات الحجر

الجيرى بالمنطقة وأن ذلك القدر يزيد على معدلات التجوية والنحت الطبيعية بما يتراوح بين ٨ و ١٦مرة.

ولنا أن نتصور أيضًا مدى ما أحدثه الفراعنة من تعديلات لسطح الأرض من خلال عمليات التحجير الضخمة التى قاموا بها لبناء معابدهم ومقابرهم حيث جلبوا لها آلاف الأطنان من العديد من المحاجر المنتشرة فى المناطق المختلفة وكيف أثر ذلك فى تعديل السفوح من خلال إزالة صخورها ونقلها بعيدًا عنها.

وهناك بالقرب من مارلبورو وعلى بعد عشرة كيلومتر منها يربض بناء ضخم Silsbury Hill بارتفاع ٤٠مترًا فوق مساحة قدرها ٢,١هكتار قدر البعض أن تشييده قد تطلب استخراج نحو ٣٥٠ ألف متر مكعب من الصخور ويمكننا أن نقيس على ذلك آلاف الحصون والقلاع التى استخدمت فى بنائها ملايين الأطنان من الصخور التى احتجرت من التلال والجبال وغيرت كثيرًا من أبعادها وملامحها الطبيعية بمعدلات تفوق كثيرًا جدًا عمليات النحت الطبيعية بأنواعها ودرجاتها المختلفة.

وتشبه عمليات التعدين سواء المكشوف منها أو الباطنى عمليات التحجير سابقة الذكر وذلك فى الآثار المورفولوجية التى تتركها كل منها، وخاصة التعدين الباطنى underground mining الذى يتطلب عمليات حفر عميقة وإنشاء أنفاق تحتية وما يرتبط بذلك من إحداث تغييرات واضحة فى خصائص الصخور - التوازن الاستاتيكى للصخور - حيث تعد حركة الصخور حول المنشآت تحت الأرضية من أهم المشكلات التى ترتبط بصناعة التعدين وخاصة أن معظم حوادث المناجم (وخاصة مناجم الفحم) كانت بسبب انهيار الصخور المحيطة بفتحات المنجم، إلى جانب ذلك تعد فتحات المناجم وما يتخلف عنها من مفتتات صخرية مرتبطة بالمعدن، وتراكمها قرب المنجم من الأشكال الأرضية المرتبطة بعمليات التعدين كنشاط بشرى. مثال على ذلك تلك الحفرة الضخمة المعروفة باسم بنجهام كانيون Bingham Canyon بولاية يوتاه الأمريكية التى نتجت عن عمليات تعدين النحاس، حيث استخرج منها ٣,٣٥٥,٠٠٠طن من الخامات الحاملة للنحاس من مساحة قدرها ٧,٢١كيلومتر مربع بعمق ٧٧٤متر وهى كمية تعادل سبع مرات كمية الرواسب التى نتجت من حفر قناة بنما. وهناك أمثلة عديدة من مناجم

التعدين فى مصر سواء القديم منها منذ عـصور الفراعنة حيث تظهر فتحات مناجم الذهب بالصحراء الشرقية التى تتبع فـيها الفراعنة عروق الديوريت الحاملة للذهب فى الصخور النارية قرب مـدينة القصير وغير ذلك الكثير كمـا يتضح أثر عمليات تعدين فـوسفات منـطقة أبو طرطور على تغيـير العديـد من ملامح سطح الأرض بالمنطقة ليس فقط من خـلال فتحات المنجم واستخراج الفـوسفات ولكن ما ارتبط بعمليات التـعدين من تسوية للأرض وعمل حفر اخـتبار وتمهيد مسـاحات واسعة لإنشاء مساكن العاملين وغير ذلك الكثير من التعديلات التى قد لا نشعر بها كثيرًا لبعدها عن مناطق المعمور الرئيسية بالوادى والدلتا. كما أن استخدام المفرقعات فى عمليات التـعدين تؤدى كثيرًا إلى إحداث تدمـير للصخور بشكل كبـير ومؤثر فى تعديل سطح الأرض.

وفى الوقت الحاضر نجد أن هناك الكثير من الممارسات التى يقوم بها الإنسان من أجـل إنشـاء المدن والتـوسعـات العمرانية ومـا يتطلب ذلك من تسوية للأرض levelling ارتبطت بعمليات هدم للمناطق التضـاريسية الموجية positive relief مع استخـدام موادها الصخرية فى ملء المناطق المنخـفضة low lying areas، أى أن الإنسان قد قام بعملية تسوية للأرض فى محاكاة لعمليات التشكيل الخارجية بهدف تحقيق أغراضه وسد حاجاته ومتطلباته.

كـذلك ظهرت تعـديلات عـديدة لسطح الأرض من خـلال حفـر القنوات الاصطناعيـة مثل قناة السويس وقـناة بنما وقناة كيـيل وغيرها الكثـير مما أدى إلى حدوث تغييرات فى طبيعة سطـح الأرض من خلال شق الصخور واستخراج نتاج الحفـر من الصخور وتـراكمهـا فى شكل أقرب إلى التلال الصـخرية السـائبة فى المناطق المتاخمة لهذه القنوات مثلما الحال فى قناة السويس.

ـ الحروب والعمليات العسكرية وأثرها فى التجوية وتشكيل سطح الأرض:

تلعب الحروب وما يرتبط بها من عمليات عسكرية دورًا كبيرًا فى ترك آثارها التدميرية على شكل سطح الأرض بشكل مباشر يتمثل أساسًا فيما ينتج عن حركة المجنزرات والمركبات الثقـيلة من تدمير للأشكال الأرضية التى تتحرك فـوقها سواء كانت إرسابية كالكـثبان الرملية والنباك والسبخات وغيـرها أو كانت أشكالاً نحاتية مثل التلال والسفوح والربوات والأسطح الصخرية وغيرها.

كذلك تظهر آثار العمليات العسكرية من خلال عمليات حفر الخنادق الطولية والحفر البرميلية وغيرها من العمليات التى تمثل فى حد ذاتها ملامح من صنع الإنسان إلى جانب تأثيرها على الأشكال الجيومورفولوجية الطبيعية.

وتعد القنابل والمتفجرات المستخدمة فى الحروب من أكثر الوسائل العسكرية تدميراً للصخور وتشكيلاً لسطح الأرض بالمناطق التى تتعرض لها.

ففى دراسة لكل من (Westing and Pfeiffer, 1972) قدرا عدد الفوهات التى نتجت عن إلقاء القنابل على أراضى الهند الصينية فيما بين عامى ١٩٦٥ و١٩٧١ بنحو ٢٦ مليون فوهة تغطى مساحة ١٧١,٠٠٠هكتار أزاحت نحو ٢,٦بليون متر مكعب من الصخور.

كذلك شهدت شبه جزيرة سيناء خلال الحروب والمعارك العسكرية التى دارت على أرضها الكثير من الآثار التدميرية وتغير الأشكال الأرضية مثل حفر القنابل والخنادق وتمهيد الأراضى لإنشاء المطارات وبناء الساتر الترابى الضخم المعروف بخط بارليف وغيرها الكثير، كما أن إسرائيل قد قامت خلال احتلالها فى الفترة من ١٩٦٧ حتى ١٩٨١ بالكثير من أعمال التدمير واستنزاف آبار البترول الموجودة ولعل إغلاقها لفتحة منجم الفحم بجبل «مغارة» بكتل أسمنتية خرسانية ضخمة دليل موجود حتى الآن على تلك الأعمال التدميرية.

كما تركت العمليات العسكرية التى دارت على أرض الكويت خلال عام ١٩٩١ العديد من التغييرات البيئية الشاملة سواء كانت فى شكل تغييرات على سطح الأرض تمثلت فى حفر القنابل والخنادق وبحيرات البترول التى تمثل نمطاً فريداً من أنماط التغيرات - وإن كانت مؤقتة - التى تعرض لها سطح الأرض حيث تسرب البترول وتدفق إلى المنخفضات الطبيعية وبعض مجارى الأودية الجافة مشكلاً بحيرات غريبة ممتلئة بالبترول متخذة أشكالاً مورفولوجية تعكس أبعاد تلك المنخفضات والأودية الجافة. كذلك تعرضت العمليات الشاطئية من نحت وإرساب لتغيرات شاملة من خلال تلوث المياه بالبترول واختفاء العديد من أنماط الحياة البحرية التى كانت تشكل السواحل المرجانية والتى بدورها تعرضت للتدمير فى مناطق كثيرة منها.

ومن الآثار غير المباشرة للإنسان على عمليات التجوية ما ينتج عن استخداماته المتزايدة بشكل مطرد من الوقود الحفرى fossil fuel من زيادة واضحة فى غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو مع غيره من الغازات الأخرى.

فقد أطلق العالم إلى الغلاف الغازى ٤٠٠مليون طن من ثانى أكسيد الكربون منذ بداية القرن الحالى مما أدى إلى زيادة محتوى الغلاف الغازى من ٢٩٠ جزء فى المليون إلى ٣٥٠ جزءاً فى عام ١٩٨٠، ويقدر بأنه سيصل فى عام ٢٠٥٠ إلى ٦٠٠ جزء مما سوف يؤدى إلى تغييرات بيئية شاملة يعنينا منها هنا ما يرتبط بزيادة عمليات التجوية الكيماوية فعالية وتأثيراً على الصخور.

حيث يؤدى ارتفاع نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى كربنة مياه الأمطار الساقطة (تحويلها إلى حمض كربونيك) مما يعنى زيادة حادة فى حموضتها وزيادة فى القدرة على إذابة الصخور الجيرية من خلال عمليات التحلل الكربونى للصخور.

وقد ظهرت الأمطار الحمضية الداكنة فى أعقاب حرب الكويت وظهرت آثارها على التربة والمنشآت فى الكويت والمناطق المجاورة.

كذلك يظهر أثر الإنسان غير المباشر فى زيادة فعالية التجوية الملحية من خلال نشاطاته المتمثلة فى تعدين الملح الصخرى أو تجفيف السبخات والمستنقعات الساحلية[1].

ثانيا - الإنسان وأثره على السفوح :

تتميز السفوح بشكل عام سواء كانت طبيعية أو من صنع الإنسان man made slopes بعدم الاستقرار، حيث إنها دائمًا ما تكون عرضة للتغيير التدريجى أو التغيير السريع من خلال عمليات الزحف أو الانهيار لأسباب طبيعية أو بشرية.

وعادة ما تحدث الانزلاقات الأرضية بسبب النشاطات البشرية المختلفة من عمليات الحفر العميق فى أعالى التلال أو عند رءوس الأودية أو فى قيعانها - عند

(١) سوف تدرس تفصيلاً فى الجزء الخاص بالصحارى من هذا الفصل.

أقدام السفح - وكثيراً مـا يتم إزالة الدعائم الساندة عند قاع السفح[1] لإقامة بعض المنشآت مـثل الخزانات وقنوات التصـريف (المصارف) drains أو تعمـيق الخزانات الموجودة، كل ذلك يؤدى إلى تقليل الضغط العـمودى (الإجهاد الرأسى) vertical stress على سطح الانزلاق وزيادة إجهادات الشد والقص فى الجزء غير المدعم من السفح (موسى وزملاؤه، ص٢٧٨).

وقد يؤدى قطع الأشجار والنباتات إلى تعرية سطح السفح مما يعرضه بشكل مباشر للعمليات الطبيعية المختلفة.

وفيـما يلى إيجاز لأوجـه النشاطات البشـرية وتدخلاته المتـعددة فى المناطق الجبليـة وأثر ذلك على العمليات الجـيومورفولوجـية والأشكال الأرضية بهـا سواء كانت هذه الأشكال طبيعية تم تعديلها أو أشكال من صنع الإنسان ذاته.

أ- الاستخدام الزراعى للسفوح المنحدرة :

يمارس الإنسان نشـاطه الزراعى بالسفوح المنحدرة من خـلال تطبيق تقنيات وأساليب مختلفة يتمثل أهمها فيما يلى :-

١ - الزراعة الكنتورية contour farming :

وفيـها يتم حرث الأرض فى خطوط مـتوازية مع بعـضها البـعض وموازية لخطوط الكنتور، والـهدف من ذلك يتمـثل فى الاحتفـاظ بأكبر قـدر من المياه من خلال تقليل سرعة جـريان المياه السطحية، يتمثل كـذلك فى تقليل معدلات نحت التربة وانجرافـها، حيث تتكون نتيجـة لاستخدام هذه الطريقة أخاديد صـغيرة ذات حافات مرتفعة نسبيـا عن جوانبها تشكلها آلات الحرث، مما يؤدى إلى تغلغل المياه فى التـربة بمعـدلات أسرع من خـلال تجمـعـها فى البـداية داخل هذه الأخـاديد الاصطناعية التى عادة ما تمتد متعامدة على اتجاه انحدار السفح.

وهكذا نرى أن أهم أثر جـيومـورفولوجى لهـذه العمليـة يتمـثل فى تقليل معدلات تعرية التربة soil erosion بنسبة ٥٠٪ عـما لو تم الحرث ploughing فى اتجاه الانحدار (الشلش، ١٩٨٥، ص١٥٨) ويتمثل كـذلك فى تشكيل أعداد كبيرة

---

(١) يؤدى ذلك إلى زيادة الأحمال المؤثرة على السفح مما قد ينتج عنه انهياره .

من الأخاديد الصغيرة مرتفعة الجوانب والتى تمثل فى ذاتها ملامح جيومورفية دقيقة minor features مـن صنـع الإنسـان عملت بـدورهـا كما عرفنا على تجميع المياه ـ كمـواضع تصيـد للميـاه على السفح ـ وحـجزها داخلهـا مما أتاح لها الفـرصة للتـشرب فى التـربة. إلى جانب أن هذه الأخـاديد العرضـية الدقـيقـة تمنع تكون تخددات طولية (جدولة) باتجاه انحدار السفح راجع الشكل رقم (١٤٣).



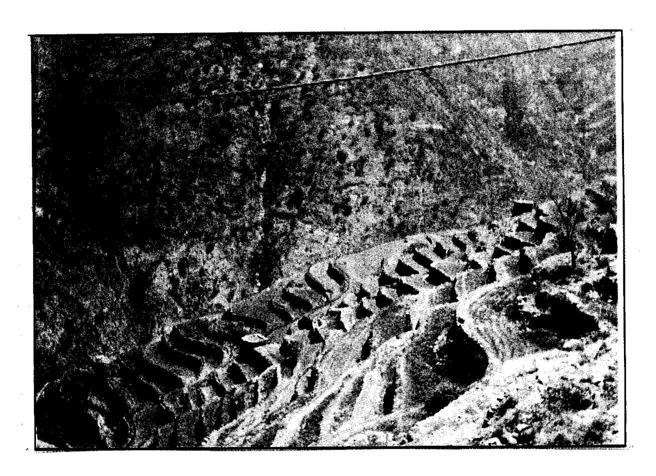
شكل رقم (١٤٣)

٢ ـ زراعة المدرجات :

يقوم الإنسان من أجل زراعة السفوح المنحدرة بتدريج تلك السفوح وخاصة المعتدلة والخفيفة الانحدار منها، ويتم ذلك من خلال تجديرها وبناء حواجز صخرية عليهـا بحيث يبدو مظهرها العـام فى شكل سلسلة من السفوح المسـتوية (أو قليلة الانحدار) ينتهى كل سطح منهـا بجبهة حائطية نحـو المدرج الذى يليه إلى أسفل، وهكذا تتحرك المياه على سطح السفح من أعلى درج (مصطبة) إلى أدنى درج دون حدوث نحت أو انجراف للتربة أو دون حدوث تخدد للأرض.

والواقع أن الإنسان هنا قـد بدأ نشاطه بتغـيير نمط السـفح وذلك من خلال إزاحة آلاف الأطنان من الصخور مقسمًا إياه إلى سلسلة من السفوح المتتابعة بحيث

تغيرت الصورة الأولية (الأصلية) للسفح كما يتضح ذلك من الصورة الفوتوغرافية رقم (٣٢) التى تبين سفحين متجاورين فى منطقة عسير أحدهما قد تم تجديره وزراعته والآخر باق على صورته الأصلية دون تدخل يذكر من الإنسان.



صورة رقم (٣٢)

ومن الآثار الجيومورفولوجية لهذه الطريقة من طرق الزراعة الجبلية ما ترتب على تقسيم السفح (الانحدار الأولى) إلى انحدارات أقصر مما أدى إلى تقليل سرعة المياه الجارية والحد من دورها فى القيام بعملية النحت الجدولى أو التخوير الذى غالبًا ما يسود فوق السفوح الجبلية الطويلة.

وفى دراسة (السرسى، ١٩٩٦، ص٩) للزراعة الجبلية بمنطقة عسير السعودية وجد علاقة عكسية بين زيادة الانحدار واتساع المدرجات كما وجد أن الأجزاء المستقيمة من المنحدرات تتميز بانتظام اتساع مدرجاتها وأن اتساع المدرجات على الأجزاء المنحنية تختلف تبعًا لشكل الانحناء وأنها، أى المدرجات تتسع فى أعالى السفوح المحدبة. كما أظهرت دراسته إمكانية قيام الزراعة على مدرجات بالسفوح

المنحدرة (٣٥) وأرجع ذلك إلى غـزارة الأمطار التى تشجع على قـيام زراعة شـبه دائمة بتلك المناطق الجبلية.

٣ ـ إزالة الغطاء النباتى :

الواقع أن قطع أشجار الغابات deforestation التى تنمو فوق السفوح الجبلية يؤدى إلى زيادة احتمال حدوث انزلاقات أرضيـة، وخاصة فى المناطق الجافة وشبه الجافة وذلك فى أعقاب حدوث عواصف رعدية ممطرة بحيث ينتج عنها تدفق طينى mud flow يعمل على اكتساح وإزالة كميات ضخمة من التربة المفككة مثل التدفق الطينى الذى تعرضت له السفـوح الجنوبية لمرتفعات «كاروكـاديوال» فى تشيلى عام ١٩٤٩ عندما سقطت أمطار تعادل كمياتها ١٧٨ ملليمـترا خلال فترة قصيرة حوالى ١٢ ساعة مما أدى إلى حدوث تدفقـات طينية بكميات ضخمة مخـتلطة بمفتتات من أحجام مختلفة (سلامة، ص ٣٠).

وقـد لاحظ المؤلف خلال إقـامتـه بمنطقـة عسـير أن الرعى الجـائر للماعـز والحيوانات الأخرى على المنحدرات الجـافة من الأراضى الرعوية ذات التربة الخشنة عادة ما يؤدى إلى القـضاء على النباتات من خلال اقتلاعـها من جذورها مما يؤدى إلى تعرية التربة وإزالتها مع تعرضها للانجراف والتذرية الهوائية.

وفى السفوح الجـبلية بالعروض البـاردة نجد أن إزالة الغابات وتشيـيد المبانى ومد الطرق وغيرها من التـدخلات البشرية تزيد كثيـرًا من فرص حدوث انزلاقات وانهيارات جليدية avalanches كثيرًا ما نسمع عنها.

كما أن كثرة مراكز التزحلق على الجليـد المنتشرة فى أوروبا تتسبب كثيرًا فى حدوث انهيـارات جليدية مخربة مـثلما حدث فى سان أنطونيـو مما أدى إلى مقتل عدد من السكان.

(*) تعمل الأشجار على استقرار وثبات التربة واستـمرار العمليات المكونة لقطاعها، إلى جانب أن الأشجار ذاتها تعمل على خشونة السطح وتقلل بالتالى من قوة اصطدام قطرات المطر بالسفح.

٤ ـ مد الطرق وتدريع السفوح وشق الأنفاق :

عادة ما كانت الدروب القديمة تسلك بطون الأودية أو تمتد على طول أقدام السفوح، وكثيرًا ما كانت تتعرض للأخطار الطبيعية من انزلاقات أرضية أو سيول مدمرة، وكثيرًا أيضًا ما كانت القرى الجبلية تعيش فى عزلة وتبعثر بسبب التضرس الشديد والانحدارات الحادة للسفوح. ومع التقدم الذى يشهده العالم فى الوقت الحاضر بدأت الطرق المسفلتة تشق تلك البيئات فى مناطق كثيرة وأصبحت بمثابة مسالك اصطناعية تميز تلك المناطق. وقد ارتبط بها القيام باحتياطات تأمين للطريق من الأخطار الطبيعية ، من هذه الوسائل تدريع (تثبيت) مواضع الخطر فى السفوح المطلة على الطرق الجبلية.

وتتمثل وسائل التدريع فى عمل حفر وتمهيد لانحدارات السفوح حتى تصل إلى زاوية الاستقرار[1] أو وضع دعامات خرسانية عند أقدامها حتى لا تتأثر بالاهتزازات الناجمة عن مرور وسائل النقل الثقيل بشكل مستمر، كذلك استخدام قضبان الشد لتثبيت الصخور، ، حيث تعمل هذه القضبان المشدودة على زيادة الإجهادات العمودية على سطوح الانهيار المحتمل مما يزيد من قدرتها على تحمل إجهادات القص وثبات الانحدار.

ومن المناطق التى استخدمت فيها الطريقة الأخيرة منطقة الباحة بعسير حيث تم عام ١٩٩٤ عمل قضبان شد بطول من ١٠ إلى ١٢مترًا كما يظهر ذلك من الصورة التالية رقم (٣٣) وقد أثبتت هذه الطريقة نجاحها فى درء أخطار الانزلاقات الأرضية بالمنطقة حتى الآن.

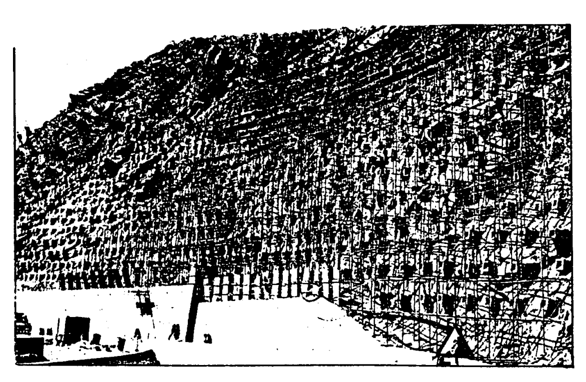
وفى منطقة عسير الجبلية كثيرًا ما تظهر حالات انزلاقات صخرية وسقوط كتل ومفتتات بشكل مفاجئ مهددة الطرق ومراكز العمران، والحقيقة أنه رغم وجود عوامل طبيعية وراء حدوثها إلا أن الإنسان له دخل كبير فى تفاقمها.

فعلى سبيل المثال أظهرت إحدى الدراسات التى تناولت أحد مواضع الانزلاقات الأرضية بوادى ضلع أثر الإنسان على حدوثها من خلال عمليات

---

(١) يقصد بها تغيير شكل أو أبعاد السفح من خلال تقليل درجة الانحدار أو من خلال إزالة أجزاء من الصخور المفككة والأحمال الزائدة وكذلك من خلال عمل مدرجات مائلة لا يزيد ارتفاع كل منها على خمسة أمتار مع عمل قنوات سطحية لتجميع وتصريف المياه.

رصف الطريق بالوادى والتى أدت إلى تـغيـير زاوية انحـدار السفح الأدنى (قـسم الدرجـة الأولى) الذى حدث عنـده الانزلاق بجانب أثر عـمليـات الرى التى تتم بإحدى المزارع الموجودة قرب أعـالى السفح وتسرب كميات كبـيرة من المياه خلال الفتحات والشقوق التى تكثر بصـخور هذا السفح مما أدى إلى تزايد نشاط عمليات التجـوية الكيمـاوية وسرعة الانزلاق . كـما أن حـركة النقل الثقـيل على الطريق وكثافة المرور بشكل عام لعبت دوراً كبيراً فى حدوث هذا الانزلاق.



صورة رقم (٣٣)

أما بالنسـبة للأنفاق الجبليـة فتعد من الملامح المورفـولوجية البشـرية واسعة الانتشار فى المناطق الجـبلية وخاصة فى المناطق المعمورة منهـا وتحت الممرات المائية الطبـيعيـة والبشـرية وتحت المضايق البـحرية مـثل نفق بحر المانش والنفق مـا بين جزيرتى هونشو وهوكايدو باليابان والنفق الممتد تحت قناة السويس.

وما يعنينا هنا هو أن الأنفاق ـ تعد شـكلاً من أشكال تدخل الإنسان لتعديل الأشكال الأرضية بهدف تحقيق مصالحة أساسًا. وأنها كعمـل بشرى ترتبط بتغييرات

عديدة تتمثل فى أنه عندما يتم إنشاء نفق على أعماق بعيدة فإن ذلك يؤدى إلى زيادة فى مقدرة الطاقة المختزنة فى الصخور نتيجة لإجهادها بدرجة قد تصبح معها غير قادرة على اختزان أى قدر من الطاقة فتعانى من الانفجار وتطاير الشظايا والكتل الصخرية المحيطة بالنفق (موسى وزملاؤه، ص٢٨٥)، وأحيانًا ما تحدث انهيارات شاملة بالنفق أو نشع مائى water seepage ويعد ذلك من مظاهر الإخلال بالصور الطبيعية. كذلك قد تتعرض المنطقة المحيطة بالنفق إلى انفصال شظايا صخرية رقيقة من المكونات الصخرية المحيطة بالنفق أو واجهات المحاجر والمناجم فيما يعرف بعملية التفلق popping.

وعمومًا فإن إنشاء الأنفاق وغيرها من المنشآت تحت الأرضية تتسبب غالبًا فى حدوث عملية اضطراب لحالة التوازن الإستاتيكى للطبقات الأرضية ينتج عنها حركة ما للصخور باتجاه النفق فيما يعرف بالترييح أو الهبوط subsidence الذى يعتمد فى درجته على مقدار الانفعالات strains فى الصخر.

وجدير بالذكر أن الأنفاق كظاهرة بشرية لم تظهر حديثًا فقط بل عرفها الرومان منذ فترات قديمة عندما أنشأوا الفوجارات وهى عبارة عن قنوات تحتية تنحدر انحدارًا عامًا هينًا باتجاه الأراضى الزراعية وعلى مسافات محددة توجد فتحات تشبه الآبار على طول امتداد الفوجارات تستخدم فى عمليات التنظيف وإزالة الرواسب والمفتتات الصخرية. وتظهر مثل هذه الملامح فى مناطق كثيرة مثل الواحات البحرية بصحراء مصر الغربية وفى إيران وعمان وغيرها.

وإذا كانت الأنفاق tunnels شكلا جيومورفولوجيا هدميا من صنع الإنسان فإن ما استخرج منها من صخور ومفتتات بأحجام مختلفة عادة ما تتراكم قرب فتحاتها فى شكل كومات وتلال تضاف كملامح إرسابية بشرية تشبه كثيرًا ما ينتج عن عمليات التعدين.

٥ ـ العمران فى المناطق الجبلية :

تنشأ الكثير من المراكز العمرانية من مدن وقرى ومدن تعدين ومنتجعات وغيرها فى المناطق الجبلية وعادة ما ترتبط فى نشأتها وتطورها بظروف الموضع،

ودائمًا ما يأخذ المخططـون فى اعتبارهم صعوبة هذه البيـئة التى تكمن فى الوعورة وشدة انحدار السفوح والارتفاع وصلابة الصخور.

ولا شك أن وجود مـراكز عمرانية فـى تلك المناطق لابد أن يرتبط بإحداث تغيرات وتعديلات كثيرة فى خصائص سطح الأرض تتمثل أهمها فيما يلى :

ـ تعديل انحـدار السفوح: عندما تزدحم المدن الجـبلية بالسكان نتيـجة اتجاه العمران بشكل تلقـائى نحو الامتداد والزحف باتجاه السفوح الجـبلية الوعرة يتطلب ذلك بالتالى عمليات تمهيد للسفوح أو تجدرد terracing على نحو ما ذكرنا من قبل كمـا أنه فى أحوال كـثيرة يتـم البناء فوق منحدرات مـتوسطة باسـتخـدام وسائل تكنولوجية متقدمة (للاستزادة راجع للمؤلف، ١٩٩٦).

ـ تتعرض العـديد من قطاعات السفوح لعدم الاسـتقرار instability وذلك نتيجة لزيادة الأحمـال فوقها حيث المنشآت المختلفة وخـاصة عندما يتم البناء فوق أعالى السفح لتمثـل تلك المبانى أحمالاً إضافية كما يظهـر ذلك من الصورة التالية رقم (٣٤).

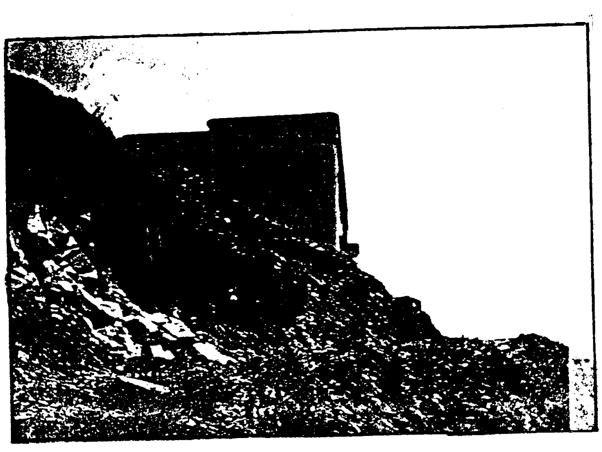
ـ يـرتـبـط بالمراكـز العمرانـيـة بـأنواعها المختلفة مد وسائل البنيـة الأساسية infrastructure من شبكات طرق وأنابيب للغاز وأسـلاك الكهرباء وأنابيب الصرف الصحى وشق قنوات صرف وغيرها الكثير.

كل ذلك بلا شك عبارة عن تعديلات سطحية وتحت سطحية لشكـل الأرض فى مواضع تلك المراكز من مدن وقرى وغيرها ، كما أن النمو العمرانى (الامتداد) عادة ما يرتبط بإعادة تـشكيل مباشر للأرض direct reshaping من خلال عمليات التسوية للسطح المنحدر أو غير المنتظم.

ثالثاً ـ الإنسان والتعرية النهرية :

تتميـز الأنهار وأحواض تصريفـها كما عرفنا تفـصيلاً من صفـحات الفصل الخامس من هذا الـكتاب بمجمـوعة من الخـصائص والعناصر، مـن أشكال ومواد صخرية وعمليـات جيومورفولوجيـة تتم بينها ـ بين هذه العناصر ـ وأن أى تدخل

بشرى فى أى واحد منها سواء كـان تدخلاً عرضيًا accidental أو تدخلاً مدروسًا يؤدى عادة إلـى سلسلة من الأحداث المتـتابعـة التى تؤثر تمامًا على النظام الـنهرى ككل.ويـذكـر لنا فى ذلك Rhue, 1971 حالة تعـرضت فيهـا قنوات نهر «ويللو» Willow بولاية ويومنج الأمـريكية لتـدخلات بـشرية تمثلت فى إجـراء عمليـات استقامة straightening لمجاريها مما أدى إلى تعمـيقها وتوسيعـها مع ظهور جداول متعمقة incised gullies فى الأرض تمتد قطاعـاتها الطوليـة لعدة كيلومـترات فى المنابع العليا لهذه الروافد النهرية. وفوق سفوح التلال hill side slopes إلى جانب مـا تـعـرضـت لـه الـطـرق والأراضـى الزراعـيـة للاضطراب (Cooke, R and .Doornkamp, 1978, p14)



صورة رقم (٣٤)

وعندما ينشـأ العمران ويتوسع ممتـدًا داخل حوض التصريف النهـرى، فإنه عادة مـا يرتبط بحدوث تغيـيرات فى خصـائص النهر الهـيدرولوجيـة وفى إنتاج الرواسب sediment yield، فاقتطاع أراض جديدة من أجل التوسع العمرانى يعنى

بالضـرورة إزالة الغطاء النبـاتى منهـا وحـدوث اضطراب للأرض وخـاصـة أثناء عمليـات التشييـد والبناء، مع حدوث زيادة فى الجريان العـاصفى storm flow[1] يرتبط بها زيادة فى مـعدلات نحت التربة وانجـرافها نحو الـقنوات المائية التى تزيد حمولتها من المفـتتات بشكل متزايد نتيجة لتلك التغـيرات والمعدلات التى شهدها حوض النهر.

وقد سـجل Schick, 1967 حـدوث نحت بلغ معـدله ٥٠ ألف طن لكل كيلومتر مربع سنويا فى أحد المواضع والتى كـان يبلغ معدل النحت بها قبل اقتطاع الأشجار والتشـييد (فى ظروفه العادية) مـا بين ٨ و ٢٠٠طن فى الكيلومتر المربع سنويا (كليو، ١٩٨٦).

وعند إنشاء المسـاكن ومد الطرق يحدث نقص فى طاقـة التشرب الطبيـعية natural infiltration capacity مما قد يؤدى إلى هبوط مسـتوى سطح الماء الباطنى وظهور خطوط صـرف اصطناعيـة. ومن ثم نجد أن التدخـلات البشـرية فى حالة الأنهار الصغـيرة كثيـرًا ما تؤدى إلى حدوث فيضـانات لمياهها وتقويض لجـوانبها وتغيرات واضحة فى عمليات النحت والإرساب.

ويوضح الجـدول التالى رقم (١٥) تغـيـر معـدل ناتج الرواسب من سطح الأرض بحوض النهر والقناة مع زيادة أشكال الاستخدامات البشرية للأرض.

استخدام الأرض	ناتج الرواسب	استقرار القناة المائية
١ ـ غابة طبيعية أو أرض حشائش	منخفض	استقرار نسبى مع نحت الجوانب
٢ ـ أراضى رعى كثيف	منخفض معتدل	أقل استقرار بعض الشىء عن رقم ١
٣ ـ إنتاج محاصيل	معتدل ـ مرتفع	بعض الترسيب مع زيادة نحت الجوانب
٤ ـ إخلاء الأرض من المحاصيل	منخفض معتدل	استقرار متزايد
٥ ـ منشآت مدنية	مرتفع جدًا	إرساب سريع مع بعض النحت للجوانب
٦ ـ استقرار	معتدل	نحت وتعرية شديدة
٧ ـ مدن مستقرة	منخفض معتدل	مستقر نسبيًا

(١) يقصد به الجريان السطحى run off الناتج عن سقوط أمطار غريرة داخل الحوض.

وسوف نحدد فى النقاط التالية بشكل مختصر أثر الاستخدامات البشرية داخل الحوض النهرى على الخصائص الجيومورفولوجية مستعينين فى مواضع مختلفة بما جاء بالجدول السابق رقم (١٥) من معلومات.

١ - قطع أشجار الغابات :

ينتج عن قطع أشجار الغابات تأثيرات كبيرة على رواسب الأنهار والجريان السطحى للمياه، ولقد أكدت دراسات عديدة هذه التأثيرات مثل الدراسة التى قام بها Fredrikson على ثلاثة أحواض نهرية بولاية أوريجون الأمريكية.

الحوض الأول: أزيل منه الغطاء النباتى إزالة تامة ولم يتم شق أى طريق داخل حدوده.

الحوض الثانى: ترك الغطاء النباتى على حالته الطبيعية دون تدخل بشرى.

الحوض الثالث: أزيلت منه النباتات من مساحات متفرقة من أرضه مع شق بعض الطرق.

وقد أظهرت الدراسة السابقة وجود اختلافات كبيرة فى كميات الرواسب المنتجة بالأحواض الثلاثة فقد جاء الحوض الأول كأكبر الأحواض النهرية الثلاثة فى كمية الرواسب المنتجة ، بينما انتج الحوض الثانى ٤,٤٪ فقط من الكمية بالحوض الثالث وهكذا فقد استنتج Fredrikson من دراسته لأثر شق الطرق وقطع الأشجار على زيادة عمليات الانهيارات الصخرية (المفتتات) debris avalanches وزيادة التدفقات الطينية نحو قناة النهر مما أدى إلى زيادة حمولته من الرواسب وخاصة حمولة القاع من الرواسب الخشنة coarse - bed - load (كليو، ١٩٨٦).

ومن الاستنتاجات الهامة للدراسة السابقة أن نسبة تركيز الرواسب فى مجارى الحوض الثالث كانت قبل ست سنوات من إزالة الأشجار تبلغ نحو ٢٠٠ جزء فى المليون زادت إلى ٧٠٠ جزء بعد وقت قصير من شق الطرق خلال أراضيها. بينما كانت نسبة تركيز الرواسب فى الحوض الثانى (الذى لم يتدخل فيه الإنسان بأى شكل) ٢٢ جزءاً فقط.

وبالنسبة للحرائق التى تتـعرض لها الغابات فإنها سواء بقصـد أو بغير قصد تؤدى إلى زيادة واضحة فى حمولة الأنهار من المفتتات، وزيادة فى احتمال حدوث الفيضانات؛ وذلك لأن حدوث حرق للأشجار مـعناه ببساطة كشف التربة وتعريتها وتعرضها للإزالة، فعلى سبيل المثـال أدت الحرائق التى تعرضت لها غابات حوض «ولاس كريك» بأستراليا إلى زيادة تركيـز الرواسب فى مياه النهر من ٧٠٥٢ جزء فى المليون إلى ١٤٣,٠٠٠ جزء فى المليـون مع ارتفاع نسبة تركيز الحـمولة العالقة suspended load.

٢ ـ النشاط الزراعى والتعرية النهرية :

ينتج عن ممارسـة الإنسـان للنشاط الزراعى كـثير من أشكـال التغـييـرات والتعديلات الجيومورفولوجية سواء بـالنسبة للعمليات أو بالنسبة للأشكال الأرضية وذلك مـن خـلال إحداث تأثيرات فى خصائص التربة ومـا ينمو فوقها من نباتات مما ينعكس على كميـة الرواسب ومعدلات الجريان السطحى للميـاه، حيث نجد أن الكثير من الأنهار تحمل مفـتتات صخرية أتت إليها أساسًا بسبب كـثافة الاستخدام الزراعى فى أرض الحوض النهرى.

وقد أشار كليـو ١٩٨٥ إلى أن هناك اختلافًا كـبيرًا فى كميـات الحمولة من الرواسب التى تنقلهـا الأنهـار تبعًـا لاختـلاف نوع الاسـتخـدام الزراعى للأرض، فالأرض التى تزرع زراعة كثيفة تعد مـصدرًا محدودًا للرواسب النهرية ، بينما نجد الأرض التى تحرث وتترك فـترة طويلة بدون زراعة تعد مصدرًا لكمـيات وفيرة من المفتتات الصخرية التى تتجه نحو الأنهار التى تقطعها.

وجدير بالذكـر أن استخدام الأسـمدة الكيماوية بإفـراط قد يؤدى إلى زيادة حمولة النهر من المواد المذابة dissolved solids التى تأتى إليه عبر المصارف الزراعية drains، كما أن جزءًا كبيرًا من مياه النهر تستخدم لأغراض الرى الزراعى مما يؤدى إلى اضطراب الدورة الهيدرولوجية والاخلال بتوازنها، وقد قدر Livovitch, 1985 كمـيات المياه التى تسـحب من أنهار العالم بنحـو ٢٪ من جملة تصرفـاتها وهذه الكمـية الأخـيرة (٢٪) يسـتهلك مـعظمهـا أو نحو ٨٠٪ منهـا فى رى الأراضى الزراعـية وتصل النسـبـة الأخيـرة فى مصـر إلى ٥٠٪ (للاسـتزادة، راجع كليـو ١٩٨٥).

٣ ـ النشاط الرعوى وأثره على التعرية النهرية :

تعمل حيوانات الرعى على تفكك التربة وطحن حبيباتها[1] مما ينتج عنه من تدمير لنسيجه ونقص حاد فى مساميتها ـ نتيجة لتصلبها بفعل الحركة المستمرة فوقها وينتج عن ذلك بطبيعـة الحال انخفاض فى مقدرتهـا على التشرب، ومن ثم زيادة معدلات الجـريان السطحى، ومن الآثار الجيومـورفولوجية غـير المباشرة لحـيوانات المرعى أن الرعى الجـائر overgrazing كثيـرًا ما يؤدى إلى ظهور نبـاتات محدودة ومبـعثرة تلائم أنـواع أخرى من الحيـوانات الحفارة مـثل الأرانب البرية والفـئران وغيـرها ، وهذه الأخيرة تستـقطب باتجاه تلك المناطق وتقوم بدورها فى عـمليات التفكك الحيوى للصخور من خلال حفر الممرات التحتية والجحور وغيرها.

٤ ـ التعدين وأثره على التعرية النهرية :

يفوق التعدين السطحى المكشوف open mining التعدين البـاطنى فى تأثيره على العمليات والأشكال الجيومورفولوجية داخل أحواض التصريف النهرى، حيث يتطلب النوع الأول إزالة النباتات الطبيعيـة وما يترتب على ذلك من زيادة واضحة فى حمولة النهر بما يضـاف إليه من رواسب مشتقة من التراكمـات الفتاتية والأتربة الناتجة عن عمليات الحفر والتعدين.

وقد أظهرت دراسة Davis, 1969 أن أحواض الأنهار التى توجد بها عمليات تعدين سطحى فى ولاية أريـزونا الأمريكية قد سـجلت زيادة واضحة فى حـمولة النهر من الرواسب يقدر بنحو ١٦٥طنًا تأتى إليـه من الهكتار الواحد سنويا ، بينما تبلغ فى الأنهـار الخاليـة من عمليـات التعـدين ٤, طنًا للهكتار فى السنة (كـليو، ١٩٨٥).

وقد تعمل هذه المفتتات الصخرية ـ إذا مـا كانت تحتوى على نسبة عالية من الأكاسيد والأحماض ـ على زيادة فعاليـة وتأثير عمليات النحت الكيماوى للأنهار corrosion.

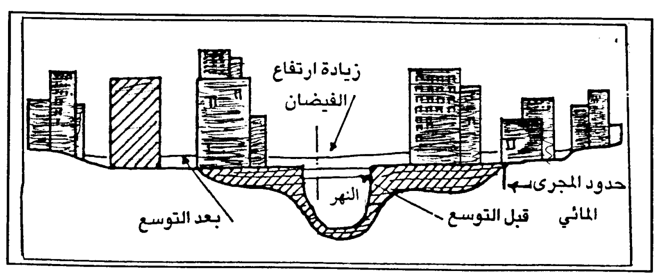
---

(١) من المعروف أن كثافة حيوانات المرعى (المستأنسة) عادة ما تكون مرتفعة بالمقارنة بحيوانات الرعى الطبيعى مما قد يؤدى إلى تدهور المرعى من خلال القضاء على النباتات الأصلية وإحلال أنواع جديدة.

٥ ـ العمران المدنى وأثره على التعرية النهرية :

تؤدى إقامة المبانى والمنشآت على سطح الأرض داخل الحوض ـ وخاصة فى منطقة السهل الفيضى ـ إلى زيادة الضغط على التربة أو الصخور التى تقام عليها مما يؤدى إلى انخفاض درجة مساميتها بل انعدامها باعتبار المبانى أسطح غير منفذه غطت تمامًا أسطح التربة فى مواضع إنشائها. كذلك فإن تبطين سطح الأرض بغطاءات خرسانية أو أسفلتية تعمل على تقليل وفى أغلب الأحوال على منع التشرب فى مساحات واسعة من سطح الأرض مما ينعكس على زيادة كمية الجريان السطحى نحو النهر مما يزيد بالتالى من قدرته على النحت وكذلك تعرضه للفيضانات.

ويمكننا فيما يلى أن نوجز الآثار المترتبة على التدخلات البشرية المرتبطة بالعمران وخاصة فى مناطق السهول الفيضية حيث التربة الزراعية المرتبطة بالنهر والمتاخمة لقناته شكل (١٤٤).



شكل رقم (١٤٤)

ـ تتمثل فى البداية فى عمليات إزالة للغطاءات النباتية وكذلك الطبقة السطحية من التربة وتراكمها فى شكل كومات كبيرة مبعثرة مما يؤدى إلى كشف طبقة ما تحت التربة subsoil الأقل نفاذية less permeable، إلى جانب ما سبق تعمل الآليات والمركبات المستخدمة فى عمليات الإزالة والتشييد على تصلب التربة

واندماج جزيئـاتها وجعلها بالتالى أقل نفـاذية، وهذا يعنى بالضرورة حدوث زيادة فى معدلات الجريان السطحى ومـا يرتبط به من زيادة فى معدلات نقل الرواسب. حيث تتفاقم مـشكلة الترسيب أثناء هذه المرحلة (مرحلة التشييـد) كما يظهر ذلك من الجدول الـسابق رقم (١٥). كذلك تـتعرض الأرض داخل الحـوض أثناء هذه الفترة للتخوير والنحت الغطائى sheet erosion.

- فى المرحلة التالية يغطى السطح السهل الفـيضى بشبكة من نظم التصريف الاصطناعى بعضها يمتد طوليا ويمكنه استيعاب جزء من مياه الفيضان حيث تجرى موازية للقناة الطبيعية والبعض الآخر يمتـد عرضيًا ويساعد على تفاقم الفيضان من خلال ما يـضيفه إلى النهـر من مياه. كذلك تغطى مـساحات واسعـة من السهل الفيضى داخل المدن بطبقة أسفلتية مع امتداد الطرق والدروب وكل ذلك يؤدى إلى زيادة ملحوظة فى مساحة المسطحات الصمـاء (الكتيمة) ويساعد بالتالى على زيادة معـدلات الجريان السطحى وتدفـقه نحو القنـاة المائية للنهر وبالتـالى قد يتـعرض لحدوث فيضانات.

- مع الانتهاء من تشييد المبانى والمنشآت الهندسية الأخرى تزداد نسبة مساحة الأسطح غيـر المنفذة داخل حوض التـصريف مما يزيد من تفـاقم العمليات سـابقة الذكر وتعرض القناة النهرية للنحت والتعرية الشديدة.

وجدير بالذكـر أن عمليـات اقتطاع الثنيات النهـرية بطرق اصطناعيـة لجعل المجرى مستـقيمًا straightening[1] وكذلك عمليات التكسيـة الخرسانية والحجرية للكثير من جوانب الأنـهار تعمل كلها على زيادة تدفق المياه فى القنوات المستـقيمة وتعرضها بالتالى لعمليات نحت أكبر مع زيادة فى خشونة حمولة القاع وغير ذلك من تغييرات فى عمليات التعرية.

وإلى جانب ما سبق فإن هناك نشـاطات بشرية داخل المدينة بالسهل الفيضى تعمل على تقليل كميات المياه بالنهر وقنواته[2] يتمثل أهمها فيما يلى:

---

(١) كثيراً ما تتم هـذه العمليات فى قطاعـات من مجـارى الأنهار التى تقطع المدن فـهدف تحقـيق أغراض تخطيطية معينة مثلما يحدث مع نهر المسيسبى.

(٢) عكس الحال مع التدخلات التى قد تسبب الفيضانات وتزيد من آثارها التدميرية.

* البناء فوق السهل الفيضى للنهر يقلل فى الواقع من كفاءة التخزين المائى به، ومن المعروف أن السهل الفيضى للنهر يعمل كخزان مائى مؤقت يمد النهر بالمياه أثناء انخفاض منسوبه، وعادة ما يتم ذلك فى المناطق الرطبة.

* البناء على النهر ذاته (الكبارى) واقتطاع مساحات من القناة والبناء فوقها وغير ذلك من تدخلات بشرية فى مجال أو حرم النهر.

وفى المناطق الريفية توجد كثير من الاستخدامات الريفية rural landuse التى لها تأثير كبير على النهر وسهله الفيضى، ومن هذه الاستخدامات شق الترع والمصارف خلال الأراضى الزراعية مما يؤدى إلى سرعة وصول المياه إلى النهر. وغير ذلك الكثير من التعديلات البشرية.

٦ ـ السدود والخزانات وأثرها على التعرية النهرية :

تؤدى السدود والخزانات التى تقام على الأنهار إلى حدوث تغييرات أساسية فى النظام الهيدروجرافى للنهر الذى أقيمت عليه، ويختلف مدى ونوعية التأثير من منطقة إلى أخرى تبعًا للظروف الطبيعية السائدة من مناخ وبنية وخصائص صخرية وتضاريس، فإلى جانب ما يختزن من مياه تتراكم أمام السد فى قيعان الخزانات كميات ضخمة من الرواسب قد تعمل على التقليل من الطاقة التخزينية لهذه الخزانات كما يؤدى تراكم الرواسب بها إلى تناقص انحداراتها وتناقص سرعة جريان النهر بها ومن الخزانات التى قلت كفاءتها التخزينية بشكل واضح بحيرة «ميد» الأمريكية (سلامة، ١٩٨٠، ص٣٧).

وفى كثير من السدود خاصة تلك التى تقام على أودية سيلية بالمناطق الجافة تجف خزاناتها وتنكشف قيعانها لتظهر بها طبقات طينية سميكة أدى جفاف طبقاتها السطحية إلى تشققها فى تشققات كبيرة وعميقة قد يصل عمقها إلى أكثر من مترين تمتلئ قيعانها بالمياه من تلك التى تنشع من التكوينات الطينية المبتلة أسفل الطبقات السطحية الجافة والمتشققة يمكن الرجوع إلى الصورة رقم (٥) التى تبين تلك الملامح التى صنعها الإنسان فى قاع خزان (بحيرة) سدوأدى أبها أثناء جفافها وقبيل سقوط الأمطار السيلية بالوادى فى شهر مارس عام ١٩٩٦.

من ناحيـة أخرى تتعرض القطاعـات من النهر الممتدة خلف جـسم السد إلى زيادة ملحوظة فى عمليات النحت بسبب تناقص حـمولتها من الرواسب مما يعرض المجرى للتعميق وزيادة درجة الانحدار.

وفيـما يـلى أهم الآثار الجيـومورفـولوجيـة التى تتسـبب عن إنشاء الـسدود والخزانات المائية على الأنهار.

- سيادة عمليات الترسيب أو الردم aggradation أمام جسم السد upstream.

- سيـادة عمليات النـحر النهرى بالقـاع والجانبين خلـف السد (باتجاه مـهبط النهر) downstream.

- ظهور تغيرات وتعـديلات كثيرة فى قطاعات النهر الطولية والعـرضية حيث تعـد السـدود فى الواقع نقط تجـديد من صنع الإنسـان man made knick points يؤدى وجودها إلى تغـير الانحدارات على طول القطاع الطولى لـلنهر وتؤثر بشكل كبيـر على العمليات المؤدية إلى تغيـر شكل القطاع العرضى للنهر سـواء فى مجراه أمام السد أو خلفه.

- ظهور بعض الملامح والأشكال الجيومورفولـوجية التى لم تكن موجودة قبل بناء السدود.

- قد تتعرض منطقة بناء السد إلى هزات أرضية موضعية.

- كما تتـعرض المـنـاطـق الساحلية التى يصل إليها النهر فى مـصبه الدلتاوى أو الخليجـى إلى اضطرابات فى العمليـات الجيـومورفولوجـية مع سـيادة عـمليات النحت البحرية وتأثيرها الواضح على تراجع الساحل فى مـواضع معينة مثلما الحال على ساحل دلتا النيل فى مصر.

بالنـسبـة لسـيـادة عمليات الترسيب والردم أمام السد، فيحدث ذلك بسبب ما يمثله جسم السد نفسـه من كونه عقبة ضخمة تعيق حركـة المياه بالمجرى وأحيانًا ما توقفهـا تامًا مثلما الحال مع السدود الركـامية كالسد العالى فى مـصر. حيث يؤدى وجود السدود إلى تعـرض سرعة التيار المائى بالنهر للتناقص لمسـافات قد تصل إلى نحو عـشرات الكيلومتـرات من جسم السد باتجاه المنـبع يرتبط بذلك حدوث نقص واضـح فى طاقـة النهر على حـمل رواسبـه وخاصة مع تـعرض قطاعه الـعرضى

للاتساع فى هذا الجانب واتخاذ النهر شكل بحيـرة طولية مثل بحيرة السد العالى. وبطبيعة الحال يتم الترسيب فى نوع من الفرز أو التصنيف بحيث يتم ترسيب المواد الخشنة أولاً تليها الأقل خشونة وهكذا.

وعندما يكون السد ركامـيا وكبير الحجم فإنه يحجز مـعظم حمولة النهر من الرواسب (أكثر من ٩٠٪ فى حالة السدود الضخـمة مثل السد العالى)، بينما تقل الرواسب المحجـوزة أمام السدود ذات الفتـحات **sluice gates** إلى أقل من النسبة السابقـة بكثير جـداً. وتتعرض البـحيرات الاصطناعـية التى أنشئت أمـام السدود لعمليات إطماء بشكل مضطرد مما قد يؤدى إلى تلاشـيها وتحولها إلى سهل دلتاوى داخلى **inner deltaic**، وعادة مـا تكون مواضع مصبـات الأودية بهذه البحـيرات مـواضع نشطة للتـرسيـب وتكون رواسب دلتـاوية تنمو باتجـاه المواضع الأخـرى بالخزان[1].

ويظهر أثر التغيرات المورفولوجـية التى تحدث بالأنهار من خلال بناء السدود وخزاناتها إذا ما اعتبرنا السد العالى مثـالاً قريبًا منا فقد تم حجز نحو ١٣٠ مليون طن من الرواسب التى كان يحملها النيل سنويًا إلى مـصر وتم الترسيب فى بحيرة السد التى تعتبر مظهراً مورفولوجيًا من صنع الإنسان حل فى موضع كان يتميز قبل بناء السد العـالى بخصائص جيـومورفولوجية وعـمليات تختلف تمامًـا عن وضعه الحالى، فقد كان نهـراً متدفقًا تكثر به الجنادل والمندفعات، يتـميز بالضيق الواضح لقناته المائية وكان بالتـالى يجنح على طول قطاعه فى هذا الموضع إلى النحت وفى الوقت الحاضر اتسع المجرى إلى عشرة كيلومترات فى المتوسط فى قطاع طوله نحو ٥٠٠كيلومتر (بحيـرة السد) تتشرشر جوانبه بشكل ملفت فيـما يشبه سواحل الريا حيث مواضع التقاء الأودية الجافة، وتحولت طبيعة العمليات من نحت إلى إرساب بمعدلات سريعة ومضطربة.

وبالنسـبة للوضع فيـما وراء السـدود فإن القطاع الطولى يعـانى من النحت القاعى والنحت الجـانبى، حيث تصل إليه المياه خاليـة تقريبًا من الرواسب فتـتجه

---

(١) عادة ما لا يتم الإطماء فى بحيرة السد بهذه الكيفيـة لعدم التقاء أى رافد نهرى بها باستثناء الأودية الجافة خاصة من الجوانب الشرقية.

مياهه - فى محاولة من النهر للوصول إلى مرحلة الاتزان - للنحت مبتدئة باكتساح رواسب القاع السائبة ثم نحت مكونات القاع والجوانب معتمدة فى ذلك على كميتها (أى كمية المياه) ونوع الرواسب المكونة للقاع والجانبين فإذا ما كانت رواسب القاع أكثر مقاومة للنحت من رواسب الجانبين ينشط النحت الجانبى مكونًا منعطفات جديدة أو يعمل على زيادة أبعاد المنعطفات الموجودة من قبل (كليو، ص٣٨).

وعادة ما تكون المناطق القريبة من جسم السد أكثر الأجزاء تعرضًا لنحت وفى حالة السد العالى بلغ النحر أقصى معدل له خلف القناطر المقامة على النيل وخاصة القريبة من السد نفسه، مثل قناطر إسنا و نجع حمادى خاصة مع عدم تجهيز هذه القناطر بالسدود الغاطسة drowned dams التى تمثل حماية لها من عمليات التقويض السفلى والنحر. كذلك تعرضت كثير من التكسيات الحجرية وبعض الرءوس التى أقيمت عند المدن لمقاومة عمليات النحت أثناء الفيضان للتقويض والنحت، كذلك حدثت تعديلات كثيرة فى أشكال وأبعاد الجزر الموجودة إلى الشمال من السد على طول مجرى النهر وفرعيه.

رابعًا - التدخلات البشرية وآثارها الجيومورفولوجية بالمناطق الجافة:

يمكننا تحديد أهم تلك الآثار الجيومورفولوجية الناجمة عن النشاطات البشرية المختلفة وتدخل الإنسان المباشر وغير المباشر فى العمليات والأشكال الأرضية بالمناطق الجافة على النحو التالى:-

أ- زيادة فعالية التجوية السائدة بالمناطق الجافة :

التجوية الملحية :

كما عرفنا من الفصل الخاص بالتجوية، فإن التجوية الملحية تتضمن عمليات كيماوية إلى جانب دورها فى التفكك الفيزيائى، وخاصة عندما تتكشف الصخور وتترسب فى مسامها جزيئات الملح التى تتموأ مع تشبعها بالرطوبة، مولدة ضغوطًا على جوانب الصخر.

ويلعب الإنسان دوره فى تفاقم عـمليات التجوية الملحية وزيادة فعـاليتها فى المناطق الصحراوية الحارة وذلك من خلال ممارسته لعدد من الأنشطة يتمثل أهمها وأكثرها وضوحًا فيما يلى :

ـ التشييـد ومد الطرق فوق سطوح تقترب منها مناسـيب المياه تحت الأرضية مما يعرضها للتشـقق والهبـوط خاصة عندما تكون قريبة من السبـخات المنخفضة، ويحدث ذلك نتيجة لزيادة معدلات التبخر وخاصة فى فصل الصيف مما يؤدى إلى ارتفاع المياه تحت الأرضية subterranean بفعل الخاصة الشعرية، حيث تتراكم المواد المذابة فـيها والعـالقة بهـا بعد تبـخرها داخل الشـقوق والفـجوات مـهمـا كانت أحجامهـا، لينتهى الأمر بتقسيم الطـرق إلى قباب صغيرة تتجـوف وتتشقق بشكل مضطرد كما يتضح ذلك من الصورة رقم (٨).

وتتعرض المبانى والمنشآت الأخرى للتجوية الملحية بنفس الكيفية يساعد على ذلك امتداد أسـاساتها فى الطبقـة السطحية للأرض مـقتربة من المياه الجوفـية التى تحتوى على نسبـة مرتفعة من الأملاح والتى تستقر بدورها فى مـسامات مواد البناء لتتـعرض للتـقويض أو الهبـوط. وتزداد حدة هذه الآثار على المنازل إذا مـا كانت مبنية من مواد ملحية ترتفع بها نسبة الأملاح.

ـ يؤدى تجفـيف السبـخات الملحـية ـ خاصـة القريبـة من البحـر ـ وكذلك عمليات استخراج الملح إلى توفر مواد صخرية مشبعة بغبار الملح الذى يجد طريقه مع الرياح إلى أقرب الحافات ويقوم بدوره فى التجوية.

ـ تتعرض الـتربة الزراعية بالمناطق الصـحراوية الحارة للتملح وتكـون قشور ملحية أعـلاها بسبب نظم الرى الخاطئة السائدة فى تلـك المناطق (عن طريق الغمر وانتقال المياه من حقل إلى آخر مع الانحدار الوئيـد للسطح لتتجمع المياه فى النهاية فى شكل برك آسنة ترتفع فيهـا نسبة الأملاح مثلما الحـال فى بركة «الأصفر» إلى الشمال الشرقى من النطاق الزراعى بواحات الإحساء[1].

---

(١) كل تلك المشاكل التى تنتج عن الممارسات الخاطئة فى تلك المناطق يضطر الإنسان معها للبحث عن علاج للحد من تفاقمها (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٦).

٢ ـ التجوية الفيزيائية Physical Weathering :

يلعب الإنسان دوره فى زيادة أثر عمليات التجـوية الفيزيائية بالمناطق الجافة، إلى جانب أنه فى كثيـر من الحالات يمثل عاملاً رئيسيـا من عوامل التجوية وذلك من خلال أنشطته التالية.

ـ **التعدين:** كما أشرنا يقوم الإنسان من خلال ممارسـته لهذه الحرفة بعمليات حفر وتنقيب فى مناطق مـتفرقة ويقوم بحفر أنفاق المناجم لتـتراكم المواد الصخرية الناتجة عن الحفر فى شكل كومات أو تلال تتعرض فى مرحلة تالية لعمليات التعرية السائدة.

ـ **عمليات التـحجير :** تؤدى هذه العـملية إلى إزالة كـميـات ضخمـة من الصخـور والمفتتـات وتؤدى بالتالى إلى إحـداث نوع من عدم التوازن الإسـتاتيكى للسفوح التى جلبت منها على نحو ما ذكرنا فى موضع سابق من هذا الفصل.

ـ **إزالة النباتات :** وهذه ظاهرة مرتبـطة فى تلك المناطق المعرضـة التحطيب والرعى الجائر مما يؤدى إلى كشف أكبر مساحة من التربة وتعرضها للتعرية الهوائية والسيليـة. كذلك ينتج عن حركـة السيارات بالمناطق الصـحراوية تدهور الأشكال الأرضية خاصة الهوائية منها مثل النباك والكثبان الرملية.

ب ـ الإنسان والتعرية الهوائية :

يتمـثل دور الإنسان هنا فى زيادة أثر العمليـات الهوائية وكذلك فى تثـبيت الكثبان والأشكال الرملية الأخرى تعدد من الوسائل.

ـ **بالنسبة لأثره فى زيـادة فعالية العمليـات الهوائية** نجده يتسـبب فى حدوث عمليات تذرية الرمال بالسطوح الصخـرية فى المناطق الصحراوية أو أنه يتسبب فى زيادة فعاليتـهـا، وذلك عندما يقـوم بتعديل الأسطح الثابتـة المعروفة بأسطح الرق المتماسكة reg surfaces من خلال عـمليات الحرث والرعى وتشييد المبـانى فوقها. كذلك نجده يساعد الـرياح فى القيام بعملياتها من خلال إزالته للنبـاتات التى تتميز هنا بتبعثرهـا، فنجد على سبيل المثال عندما يتعرض كـثيب رملى مغطى بالنباتات لعمليات رعى كثيف فإنه بذلك يفقـد مقومات ثباته وتماسكه، ومن ثم يتحول إلى مصدر للرمال التى تتحرك بسهولة بالغة مع أية رياح تهب عليها.

وقد أظهرت دراسة للنباك الرملية بالساحل الشمالى لدولة الكويت، تعرض تلك النباك للتدهور بسبب إزالة الغطاءات النباتية التى تنمو فوقها من خلال الممارسات سابقة الذكر لدرجة أن بعض النباك التى كانت ممثلة على الخرائط والصور الجوية لعام ١٩٧٦ اختفت تمامًا باستثناء بعض الآثار المتمثلة فى بقايا جذور نباتات متفحمة انكشفت بعد إزالة النباك من حولها (راجع بالتفصيل كليو والشيخ، ١٩٨٦).

ـ **تثبيت الكثبان والأشكال الرملية:** حاول الإنسان منذ فترات قديمة مواجهة حركة الكثبان وانسياق الرمال فى المناطق الجافة وذلك من خلال ابتكاره لعدد من الوسائل المطلوبة لإيقاف حركتها والحد من أخطارها على الأراضى المزروعة والمناطق السكنية، وهو فى كل جهوده يعمل فى الحقيقة على تعديل العمليات الهوائية ويعمل أيضًا على التحكم فى أشكال الترسيب الهوائى.

ومن تلك الوسائل رش أسطح الكثبان بزيوت البترول أو بمواد كيماوية بهدف تكوين طبقة سطحية تحمى ما تحتها من رمال من عمليات التذرية والحت الريحى.

وهناك وسائل ميكانيكية تتمثل فى عمليات الإزالة الميكانيكية للرمال ونقلها بالعربات أو فى حفر خنادق فى خطوط متوازية بأعماق مختلفة بحيث تمتد متعامدة على اتجاه تحرك الرمال، كما تتمثل أيضًا فى إنشاء أسوار وحوائط تعرف بكاسرات الرياح wind breakers تعمل على إعاقة حركة الرمال وحماية المنشآت حيث تصمم بارتفاعات مناسبة حتى لا تتعرض للردم.

إلى جانب ما سبق هناك وسائل ميكانيكية أخرى مثل تغطية الأسطح الرملية بمواد حصوية لتمثل سطحًا متماسكًا صلبًا يساعد على قفز الحبيبات بعيدًا عن جسم الكثيب وهذه الطريقة تعمل فى الواقع على عدم نمو الكثيب ولكنها لا تمنع الانسياق الرملى كما أن هناك وسائل نباتية طبقت فى مناطق كثيرة من العالم.

والحقيقة أن ما يعنينا هنا هو أن نعرف دور الإنسان فى التأثير الجيومورفولوجى بتلك المناطق الجافة التى تتعرض للتعرية الهوائية سواء كان هذا الدور مقصودًا أم يتم بغير قصد.

جـ - الإنسان والتعرية المائية فى المناطق الجافة :

تعد التعرية السيلية torrintial erosion واحدة من أكثر أنواع التعرية تأثيراً بالمناطق الجافة، وخاصة تلك المناطق التى تقطعها شبكات من الأودية الجافة فوق سفوح منحدرة باتجاه أراض سهلية مثلما الحال فى صحراء مصر الشرقية التى كثيراً ما تشهد أوديتها سواء فيها المتجهة غربًا نحو وادى النيل أو تلك المتجهة نحو ساحل البحر الأحمر فى الشرق تدفقات سيلية فجائية حادة تؤدى إلى التدمير للعديد من الأشكال الأرضية والمنشآت البشرية المختلفة.

ويمكننا أن نختصر دور الإنسان فى تلك العمليات الجيومورفولوجية على النحو التالى:

- دور الإنسان فى ضبط السيول والاستفادة من مياهها :

يتمثل هذا الدور أساسًا فى إنشاء العديد من السدود والمنشآت الهندسية الخاصة بأعمال الحماية مثل الأنفاق التحتية under ground tunnels والسحارات أسفل الطرق الممتدة فى تلك الأودية.

بالنسبة للسدود فإنها تتنوع فى أشكالها وأحجامها فمنها السدود الترابية بارتفاعات لا تزيد عادة على المترين ويهدف إنشاؤها إلى حجز مياه الفيضانات وتحويلها إلى الأراضى الزراعية بدلاً من تدفقها فى البحر ومنها تلك السدود المنتشرة على طول الساحل الشمالى فى مصر. وهناك السدود الخرسانية وهى السدود الرئيسية بالمناطق الصحراوية التى لها تأثيرها الواضح فى إحداث تغيرات جيومورفولوجية عديدة بمواضعها وبالمناطق القريبة منها.

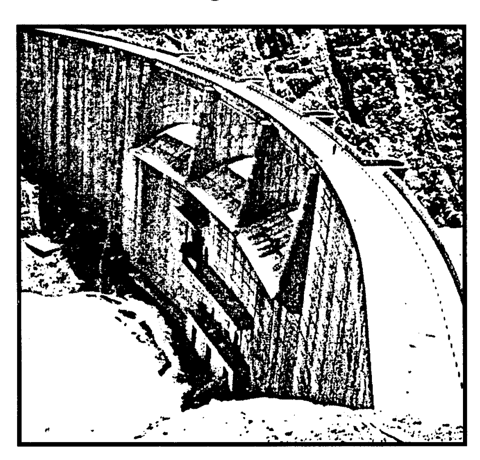
وعادة ما يتم اختيار مواضع بنائها بعد دراسة دقيقة لحوض الوادى ككل وللموضع نفسه.

وتتمثل أهم التغيرات والآثار الجيومورفولوجية المترتبة على هذه السدود فى كونها تعمل على حجز مياه السيول الفجائية فى خزانات توجد أمامها مما يؤدى إلى منع حدوث فيضانات سيلية فيما وراء السد خاصة إذا ما كان الوادى مستمرا داخل أراض سكنية أو مزروعة. ومعنى كل ذلك توقف عمليات النحت المائى والانجراف

التى كانت تـتعرض لهـا تلك القطاعات. من الأودية قـبل إنشائه. كـذلك يظهر أثرهافى حدوث ترسيب على قيعان الخزانات التى تبـدو أحيانًا كبحيرات من صنع الإنسان إلى جانب مـا يحدث من تسرب جزء من هذه المياه داخل شقـوق ومسام الصخر مما يؤدى إلى زيادة المخزون الجوفى من المياه.

ويعد سد وادى نجران أكبر السدود بالمملكة العربية السعودية ويقع فى منطقة ضيقـة بالوادى وتبلغ سعتـه التخزينية ٨٦ مليـون متر مكعب من المياه فى بحـيرته الموجودة أمامه.

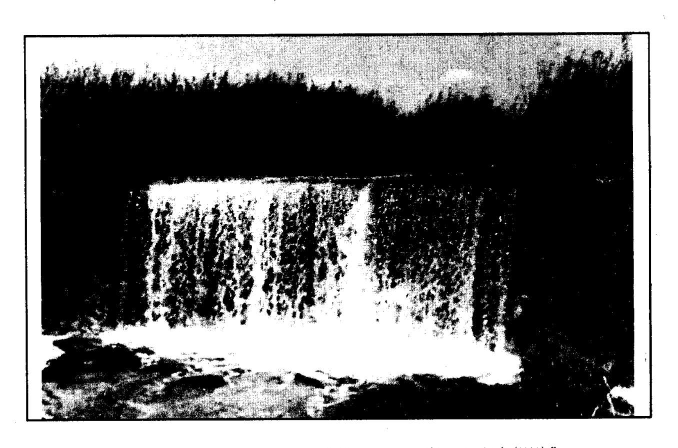
ويبدو جـسم السد كمـا يتضح ذلك من الصورة (٣٥) مـقوس بنصف قطر يبلغ ١٤٠ مترًا وعرض تسعة أمتار ونصف مع أقصى ارتفاع ٧٣مترًا.



صورة رقم (٣٥)

ويتم تصريف مياهه من مـفيض يوجد بقمة السد (عرضه ٦٩مـترًا وارتفاعه ١٥مترًا) بطاقة قدرها ٨٢٠٠م³/ثانية. كمـا توجد ثلاثة مخارج أخـرى قريبة من

قاعدته خاصة بالتصريف العادى قطر كل مها ٢,٢٥متراً. وقد عمل هذا السد على دفع منسوب المياه الجوفية بالمنطقة بجانب مهمته الأساسية فى حجز مياه السيول بدلاً من ضياعها فى الربع الخالى. كما قد تؤدى التدخلات البشرية فى الصحارى إلى تكوين بعض الأشكال المورفولوجية المميزة مثل البحيرات الاصطناعية والشلالات وغيرها، ومثال على ذلك ما تم فى وادى الريان من صرف المياه الزائدة ببحيرة قارون بمنخفض الفيوم حيث تم تكون بحيرتين داخل منخفض وادى الريان إحداهما فى الشمال وتبلغ مساحتها ٣٩,٧كم٢ مع أقصى عمق ٢٣ مترا والثانية فى الجنوب ومساحتها ٤٢كم٢ وتبدو فى شكل مثلث قاعدته فى الشمال وأقصى عمق بها ٣٤ مترا، راجع الصورة رقم (٣٦) التى تبين أحد الشلالات الاصطناعية بارتفاع ٣½ متر وعرض ١٣½ متر.



صورة (٣٦) شلال اصطناعى على القناة الممتدة ما بين بحيرتى وادى الريان

خامسا - الإنسان والسواحل :

مقدمة

يلعب الإنسان دورًا كبيرًا فى تغيير خصائص الساحل من خلال تدخله فى عمليات النظام الساحلى الطبيعى بما يقوم به من ممارسات ونشاطات متعددة مرتبطة بالبيئة الساحلية.

وسواء كان هذا التدخل تدخلاً إيجابيًا أو سلبيًا مباشرًا أو غير مباشر فهو فى كل الحالات يعمل على تعديل العمليات التى تقوم بها الأمواج والتيارات الشاطئية والتيارات المدية تؤازرها عمليات الانهيارات الأرضية التى تشهدها بشكل خاص السواحل الجرفية.

وتؤدى هذه التعديلات فى العمليات بدورها إلى ظهور العديد من الأشكال الجيومورفولوجية التى تم تعديلها بفعل الإنسان إلى جانب ظهور أشكال من صنع الإنسان ذاته لم يكن لها وجود من قبل تدخلاته فى المناطق الساحلية.

ويهدف هذا الجزء إلى إبراز صور التدخلات البشرية فى العمليات الساحلية من خلال المنشآت الهندسية (وسائل الدفاع الساحلية) أو تغذية الشواطئ وغيرها ثم إيجاز لأثر الإنسان غير المباشر فى إمكانية تعرض السواحل للغمر البحرى نتيجة لارتفاع منسوب مياه البحار.

عندما يتدخل الإنسان فى العمليات الساحلية فإن تدخله قد يكون بقصد (عن عمد) يهدف من خلاله إلى إنجاز جوانب إيجابية خاصة به ولكنها فى معظمها تكون مع ذلك مؤثرة على فعالية عمليات تشكيل هذه السواحل سواء كانت عمليات مرتبطة بالمياه (كتلك التى ترتبط بالأمواج أو التيارات الشاطئية) أو مرتبطة بالظروف القارية أساسًا مثل عمليات الانهيارات الأرضية أو الترسيب النهرى (فى السواحل الدلتاوية) أو بالرياح من خلال دورها فى عمليات الترسيب.

وقد يكون تدخل الإنسان تدخلاً سلبيًا، فتكون النتائج المترتبة على ذلك أكثر تأثيرًا على الإخلال بالتوازن الذى قد تتميز به النظم الساحلية بأنواعها المختلفة. مثال ذلك المنشآت الساحلية التى تنتشر على طول السواحل من مراكز سياحية ساحلية أو تدمير للكثبان الرملية الشاطئية أو ردم الأهوار وتفجير الشعاب المرجانية بغرض توسيع الموانئ. وغير ذلك من التدخلات السلبية.

وتوضيحًا لما سبق سوف نعرض بإيجاز لبعض هذه التدخلات البشرية الإيجابية منها والسلبية المباشر منها وغير المباشر وذلك بهدف إبراز أثر الإنسان على سير العمليات الساحلية وما ينتج عن ذلك من أشكال وملامح ترتبط بالإنسان بقدر ارتباطها بالعمليات الساحلية الجيومورفولوجية أو بدرجة أكبر.

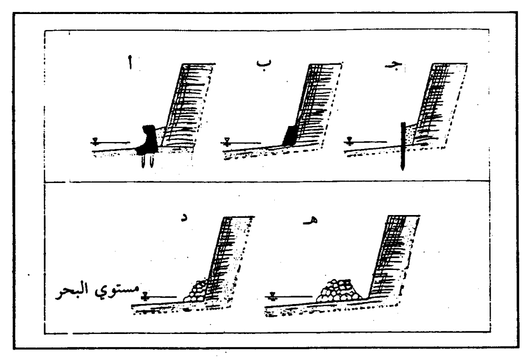
أ ـ تدخل الإنسان لحماية الشواطئ من التراجع ومن الغمر البحرى والآثار الجيومورفولوجية لهذا التدخل :

لقد تدخل الإنسان فى النظام الساحلى الديناميكى الطبيعى بصور مختلفة وذلك بهدف الحد من تراجع خط الشاطئ كنتيجة لعمليات النحت البحرية أو عمليات الغمر البحرى للشواطئ inundation أثناء حدوث الجشنات البحرية storm waves المدمرة أو قدوم أمواج التسونامى.

وتتمثل صور تدخله فيما يلى :

١ ـ إنشائه لدفاعات قوية ضد العمليات البحرية وانهيارات الجروف البحرية يتمثل أهمها فى بناء حوائط بحرية وحواجز وكاسرات أمواج سواء كان ذلك بالسواحل المنخفضة أو سواحل الجروف التى تتعرض بشكل مستمر للغمر البحرى أو التراجع بفعل عمليات النحت والانهيارات الأرضية.

وتنقسم الحوائط البحرية sea walls إلى نوعين: النوع الأول وهو النوع الجاسئ rigid، والثانى التراكمى المنفذ كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (١٤٥أ) والحوائط الصخرية من النوع الأول rigid-type sea walls تصنع من الخرسانة أو من ألواح غطائية من الصلب وعادة ما يتم إنشاء الحوائط الخرسانية على مسافة معينة (قصيرة) من الجرف، وقد تظهر رأسية أو منحدرة أو منحنية.



الشكل رقم (١٤٥)

وقد تكون هذه الحوائط الخرسانية ملاصقة للجرف كما يظهر من الشكل السابق (١٤٥ب) ويهدف إلى حمايته من التراجع recession خاصة عندما تتعاقب على هذه الجروف صخور صلبة كالحجر الجيرى مع طبقات لينة مثل الصلصال. أما الحوائط الرأسية أو المنحدرة المصنوعة من ألواح الصلب أو الخشب (١٤٥جـ) فتقام على مسافة من وجه الجرف البحرى.

وطبقًا لكلايتون Clayton, 1989 فإن ٧٠٪ من خط الساحل الجرفى شمال شرق نورفولك بإنجلترا والبالغ طوله ٣٣كيلومترا قد تم حمايتها بواسطة الحوائط الصماء الجاسئة سابقة الذكر مع بعض حواجز الأمواج والتكسية ومعظمها قد تم بناؤها بعد تعرض الساحل لغمر بحرى عاصفى storm surge عام ١٩٥٣.

وباستخدام مادة عملية من القياسات الميدانية المباشرة وجد Clayton أن القطاعات غير المحمية (٣٠٪ من طول الساحل السابق) قد تراجعت خلال عشر سنوات بمعدل ٧,متر فى السنة، بينما تراجعت القطاعات المحمية بأقل من ١, متر فى السنة وتلك القطاعات المحمية بطريقة التكسية[1] تراجعت بمعدل سنوى ٣,متر فقط. أما بالنسبة للحوائط الركامية المنفذة mound type sea walls فهى عبارة عن كومات من الحجارة أو الكتل الخرسانية concrete blocks ومن ثم فهى منفذة.

(١) أقل صلابة وتماسكًا من الحوائط الكتيمة الجاسئة.

تنقسم تلك الأنواع المنفذة من الحوائط البحرية إلى فئتين أحدهما ترتكز على الجرف كما يظهر ذلك من الشكل السابق رقم (١٤٥) د والأخرى عبارة عن كتلة متراكمة على مسافة قصيرة من الجرف شكل (١٤٥) هـ ، وقد استخدم النوع (١٤٥) د فى حماية الجروف من التراجع على الساحل الأوسط بكاليفورنيا .(Sunamura, T., p213).

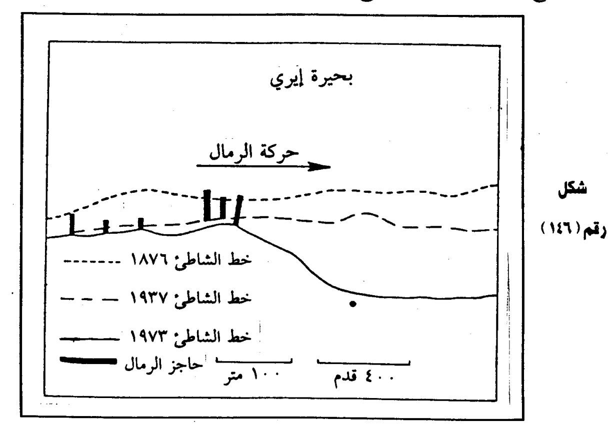
ومع أهمية الحوائط بأنواعها المختلفة فى حماية السواحل من التآكل والتراجع لكنها فى حد ذاتها تمثل أشكالاً معدلة تمامًا للمظهر الجيومورفولوجى العام لخط الشاطئ إلى جانب أنها كثيراً ما تؤدى مع عدم الفهم الكامل لطبيعة السواحل إلى الإخلال بنظم النحت والإرساب بالسواحل التى أقيمت عليها. فعلى سبيل المثال نجد أن الحائط البحرى (خاصة الخرسانى) الذى يؤدى بناؤه إلى الحد من عمليات النحت البحرية وحماية خط الشاطئ يرتبط بالعديد من المثالب يتمثل أهمها فى كونه كبناء خرسانى كتيم يغطى الواجهة البحرية للساحل يعمل على صعوبة الوصول إلى البلاج بجانب أنه كثيراً ما يتسبب فى إعادة توزيع معظم رواسب البلاج بحيث تنكشف أساساته وتعرى (تقوض تقويضًا سفليا) وينتهى الأمر به للانهيار مثله فى ذلك مثل الحوائط الجرفية الطبيعية خاصة مع تلاطم الأمواج عليه بعنف وارتدادها تجاه البحر بقوة حاملة معها رواسب الشاطئ.

ورغم وجود أشكال متعددة من الحوائط والتكسيات كما رأينا إلا أنها كتل تمثل تراكيب غريبة على الوضع الطبيعى للسواحل (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٦).

ومن الدفاعات الساحلية كذلك غير الحوائط كاسرات الأمواج break waters وهى عبارة عن بناء مشيد فى موازاة خط الشاطئ وعلى مسافة منه تعمل على تسطح الأمواج وتناقص طاقتها ومن ثم حماية الشاطئ وهى عادة ما تستخدم لحماية البلاجات الرملية بشكل أكبر بكثير من السواحل الجرفية. ومن تأثيراتها على السواحل تراكم الرمال فى المنطقة المحمية وذلك بسبب حدوث انجراف وتشبع للأمواج القادمة إلى الشاطئ. وهناك نوع من كاسرات الأمواج تمتد متعامدة على خط الشاطئ وتقوم فى هذه الحالة بدور مصايد الرمال والهدف من إنشائها منع

الإطماء فى الثغور والمصبات الخليجية إلى جانب أنها توفر الحماية لرسو السفن على السواحل المكشوفة. ومن آثارها السلبية على السواحل حدوث إطماء وترسيب على الجانب الأمامى لها مع حدوث نحت على الجانب الخلفى الذى قد يتعرض أيضًا لطغيان البحر. وتستخدم حواجز الأمواج groynes بشكل عام بهدف عرقلة حركة الرواسب على طول الشاطئ والحفاظ على البلاج،ولكن قد ينتج عن وجودها تغير فى الخصائص الجيومورفولوجية للشاطئ الأمامى fore shore حيث تؤدى إلى ارتفاع منسوبه وحمايته من الأمواج، بينما تؤدى فى كثير من الأحوال إلى حدوث نقص فى كميات الرواسب خلفها مع حدوث نحت على نحو ما يتم مع كاسرات الأمواج الممتدة امتدادا عموديا على خط الشاطئ.

وقد قام كارتر Carter بسلسلة من الدراسات الخاصة بأثر منشآت حماية السواحل على التغيرات الجيومورفولوجية على طول ٣٠٠كيلومتر من شاطئ بحيرة إيرى lake Erie التى تتميز بالجروف المقطوعة فى الرواسب الجليدية حيث أظهرت قياساته حدوث تغيرات فى خطوط الجروف المرتبطة بإنشاء حواجز الأمواج على بعد ٤٠كم شرق كليفلاند كما يتضح ذلك من الشكل التالى رقم (١٤٦) حيث حدث تراجع متوازن للجروف بلغ معدله خلال الفترة من ١٨٧٦ إلى ١٩٣٧



شكل رقم(١٤٦)

٦,متـر فى السنة. وأثناء الفـترة من ١٩٣٧ حتـى ١٩٧٣ هبط معدل التـراجع إلى ٣,متـر فى السنة على طول النطاق المواجه لحركـة المواد على الشاطئ updrift area وامتدت الرمـال فى هذا القطاع لتزيد البلاج اتساعًـا. أما فى الجانب الخلفى down drift side من الحواجز فـقد زادت معدلات النحت والتراجع لتـصل إلى ثلاثة أمتار فى العام.

كذلك تم على سـاحل جنوب إنجلترا عند Barton عمل مشـروع حماية تمثل فى إنشاء رءوس أرضية اصطناعية artificial headlands (حواجز رمال كبيرة الحجم) وذلك بهدف وقف عملية تراجع الجروف الصلصالية، وقد اعتمد المشروع على فكرة أن الشاطئ الخليـجى المستقر (الثـابت) يرتبط عادة برأسين أرضيـتين تحصرانه فـيما بينهما وقد سجل المشروع نجاحًا حتى الآن.

أمثلة للدفاعات الساحلية بمصر :

توجد أمـثلة للدفاعـات الساحليـة بمصر منهـا مشـروع تثبيت خـط الشاطئ وحمايتـه بساحل أشتوم الجـميل بحاجز بحـيرة المنزلة حيث تم إنشاء حـائط بحرى خرسانى شرق البوغاز (بوغاز أشتوم الجميل) بامتداد أربعة كيلومترات ونصف باتجاه الغرب نحو مدينة بورسعـيد إلى جانب إنشاء حاجز للرمال يمتـد متعامدًا على خط الشاطئ متوغلاً فى البحر لمسافة ١٥٠مترًا، ويهدف الأخير إلى حجز الرمال وتوسيع بلاج المدينة والحفاظ عليه خاصة الجانب الغربى منه شكل رقم (١٤٧)، وقد ظهرت آثار سلبية على الساحل من جراء هذا الحـائط تمثلت فى حدوث اضطراب للعمليات الجيومورفولوجية على السـاحل حيث حدثت زيادة واضحة فى طاقة الأمواج وقدرتها على النحت خـاصة مع عـدم مسامـية أو نفـاذية الحائط الخـرسانى مما ساعـد على ارتدادها بعنف إلى البحر بعـد اصطدامها بالحائط مما عرضه لعمـليات نحر وتقويض استدعت من المسئولين المتابعة المستمرة وعمل الترميمات اللازمة.

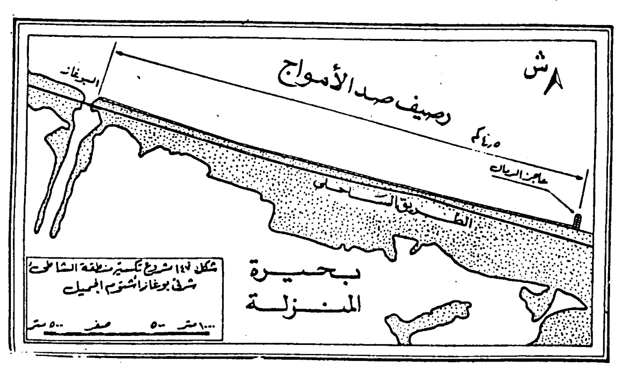
كذلك تستخدم الكتل الخرسانية لحماية شواطئ الدلتا فى منطقة البرلس حيث تلقى على مقربة من خط الشاطئ كميات كبـيرة يصعب تحريكها من منطقة الشاطئ الأمامى[1].

---

(١) تـستخدم فى بعض الأحوال مـحركات السيارات القديمة بدلاً من الكتل الخرسانيـة وهذه الوسيلة لها كما لـسابقتها العديد من المثالب تتمثل فى كونها تراكيب ومكونات إضافية من صنع الإنسان تعمل على تشويه الشاطئ واضطراب العمليات السـاحلية مع عدم تجاهل دورها في الحماية وتشتيت الأمواج.

ب ـ النشاطات البشرية وانهيارات الجروف الساحلية :

هناك كما عرفنا أنواع مختلفة من الانهيارات الأرضية mass wasting التى تتعرض لها أوجه الجروف الساحلية مثل الانزلاقات الدورانية والانزلاقات الأرضية وغيرها مثل تلك الانهيارات التى تعرضت لها منطقة Fol rstone Warren بساحل كنت بإنجلترا والتى بلغت عشرة انزلاقات دورانية rotational landslidings منذ عام ١٧١٠ حتى ١٩١٠ وهى سواحل مكونة من صخور طباشيرية متعاقبة مع صخور صلصالية.



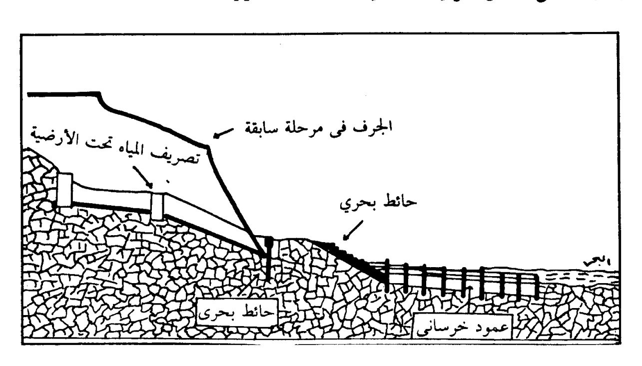
شكل رقم (١٤٧)

وقد تم هنا عمل دفاعات ساحلية وتصريف للمياه لتقليل ضغط المياه الجوفية كما تم عمل قطوع اصطناعية artificial cutting لسطح الجرف لجعله أقل انحداراً فى مواضع معينة مثلما حدث على الجروف الصلصالية بساحل كلاكتون بإنجلترا.

ومن الوسائل الأخرى لحماية هذه الجروف من الانهيارات والانزلاقات الصخرية القيام بعمليات حفر اصطناعية لتمهيد السفوح، وتعد الأخيرة من أكبر الوسائل انتشاراً وفعالية فى عمليات استقرار أوجه الجروف الشاطئية.

كذلك يؤدى مد الطرق على حافات تلك الجروف على زيادة الضغط عليها مما يسبب عدم استقرار لها. مثلما الحال فى منطقة سانتا كروز بولاية كاليفورنيا كذلك يؤدى وجود المنشآت والمبانى نفس الدور الذى تقوم به الحركة الكثيفة على الطرق الممتدة فوق حافة الجروف edge of cliffs.

ويوضح الشكل التالى رقم (١٤٨) بعض وسائل حماية جروف منطقة والطن Walton بساحل إيست إنجليا بإنجلترا وهى من السواحل التى تتعرض للتراجع بشكل سريع. وهناك مواجهات مستمرة بين الإنسان والبحر أحيانًا تشهد درجات مختلفة من النجاح. لاحظ تعدد وسائل الدفاعات من حواجز وحائط بحرى ومد أنابيب لتصريف المياه وكلها بطبيعة الحال وسائل تهدف أساسًا إلى حماية الساحل من التراجع المتزايد للجروف الصلصالية بالمنطقة بمعدلات قد تصل إلى نحو المتر فى العام وكانت تبلغ فى الفترة من ١٩٢٢ حتى ١٩٥١. ٨٦, من المتر/ فى العام،وترجع الزيادة إلى التدخلات البشرية وإنشاء الطرق والمساكن باعتبارها من مناطق الترمية الساحلية[١] (Knapp, B, P120).



شكل رقم (١٤٨)

(١) تتعرض لعدة الجروف للانهيارات والانزلاقات بسبب ضعف صخورها وتشبعها بالمياه الجوفية مما تطلب عمل هذه الدفاعات ومنها مد أنابيب صرف للمياه داخلها.

جـ ـ تغذية البلاجات بالرمال وآثارها الجيومورفولوجية :

تعد إضافة الرمال إلى البلاجات من الوسائل الهامة المستخدمة لتحسينها وحمايتها من الإزالة بفعل الأمواج، ويتم ذلك من خلال ضخ رمال فى منطقة الشاطئ البعيد off shore لتتحرك مع الأمواج باتجاه خط الشاطئ حيث البلاج المطلوب تغذيته.

ومن أفضل الأمثلة الخاصة بتغذية البلاجات بالرمال ما تم على شاطئ إيست إنجليا بإنجلترا على مسافة عشرين كيلومترا من كلاكتون، وذلك فى قطاع يتعرض فيه الشاطئ لعمليات نحر بحرية بجانب استنزاف الرمال بفعل عمليات الحفر dredging التى تتم فى ميناء فليكستو والتى يباع منها سنويًا ٢٥٠ ألف متر مكعب تستخدم فى أغراض البناء. وقد انعكس كل ذلك على حدوث نقص شديد فى الرواسب بالساحل، ومن ثم تعرض عمليات النحت والإرساب الساحلية لخلل شديد فى توازنها الديناميكى.

وفى شاطئ لونج بيتش بولاية نيوجيرسى الأمريكية تم إلقاء كميات ضخمة من الرواسب قدرها ٦٠١,٩٩١ ياردة مكعبة على بعد نحو نصف ميل من خط الشاطئ وذلك بهدف بناء البلاج الذى يعانى من نقص فى رماله بسبب عمليات النحت المستمرة. وقد ألقيت كمية الرمال السابقة على عمق ١٣ متر تقريبًا، وقد تشكلت بعد ذلك فى صورة حافة رملية غارقة بارتفاع أكثر من مترين وعرض ٢٥٠مترًا وطول ١٢٥٠متر تقريبًا.

ويوضح الشكل التالى رقم (١٤٩) نظام تغذية beach norishment system حيث تنقل الرواسب الرملية فى منطقة الضخ بواسطة خط أنابيب pipeline من الشاطئ البعيد يلاحظ اتجاه الأمواج واندماج هذ الرواسب مع العمليات الطبيعية الساحلية الخاصة بعملية التغذية.

د - عمليات الحفر dredging على السواحل وما يرتبط بها من تغيرات على الشواطئ :

تتمثل الآثار الجيومورفولوجية لعمليات الحفر بالمناطق الساحلية فيما يلى :

- حدوث تغير فى التوازن بين عمليات النحت والنقل والترسيب فى المنطقة الشاطئية الضحلة littoral حيث تتغير أنماط الأمواج المقتربة من الشاطئ.

- حدوث تداخل مع الاستخدامات المختلفة بالمنطقة الساحلية مع ظهور ملامح مورفولوجية لم تكن موجودة من قبل.

عادة ما تكون الشطوط الرملية sand banks الموجودة أمام خط الشاطئ مصدرًا للرمال التى تتجة (تنقل) نحو البلاج وتعمل على تغذيته بشكل طبيعى من خلال العمليات البحرية ويعنى إزالتها بالحفر حدوث تغير فى أنماط الأمواج المقتربة من الشاطئ إلى جانب حرمان البلاج من مصدر من مصادر تغذيته.

شكل رقم (١٤٩)

ويرتبط بعمليات الحفر ما يتم أحيانًا فى مواضع المرافئ بالسواحل المرجانية حيث يتم توسعة مراسى السفن من خلال عمليات تدمير للشعاب المرجانية كما يحدث على سواحل البحر الأحمر فى بعض المواضع.

هـ - تثبيت الكثبان الرملية الساحلية وآثارها الجيومورفولوجية :

تعد العمليات التى يقوم بها الإنسان لتثبيت الكثبان الرملية الساحلية من الوسائل المفيدة فى بعض السواحل والتى تؤدى إلى تحسن منطقة الشاطئ الخلفى وإن كان من آثارها السلبية وتقلص مساحة الشاطئ الأمامى وذلك وفقًا لدراسة Dolan وقياساته لما تعرضت له الجوانب الخارجية للسواحل قرب رأس هاتيراس بولاية كارولينا الأمريكية.

والواقع أنه عندما يتدخل الإنســان ويعمل على تثبيت الكثبان الســاحلية فهو فى ذات الوقت يقوم بتـعديل العمليات الـسائدة على الساحل حيث يســاعد على تثبيها على حماية الساحل من الأمواج من خلال قيامها (الكثبان) كمصدات طبيعية بتشـتيت طاقة الأمواج فـوق مساحـة أكبر مما يتيح فـرصة لزيادة اتساع البـلاجات عكس ما ذكره Dolan، حيث تكتسب هذه البلاجات مـواد فتاتية ناتجة عن نحت الأمواج لمقدمات (جبهات) هذه الكثبان.

و ـ تجفيف الأهوار والسبخات الساحلية :

عندما يقـوم الإنسان بتجـفيف الأهوار والسبـخات التى عادة مـا تكثر على الشواطئ الرملية المنخـفضة فإنه بذلك يقوم بدوره المـؤثر فى حسم الموقف لصالح الأمواج البحرية والعواصف، ومن ثم يصبح الشاطئ أكثر حساسية لأى ارتفاع فى منسوب البحر، حيـث إنه من المعروف أن السبخات تعد أفضل الدفاعـات الطبيعية الساحليـة ضد العمليات الـبحرية خاصـة مع نمو النباتات الملحيـة التى تعمل على تماسك التكوينات وتصيـد الرمال وتشتيت طاقة الأمواج التى عادة مـا تتعرض لها خلال فترات المد.

كذلـك قد يؤدى تدخل الإنســان فى طبيـعة الحـواجز التى تفـصل الأهوار والبحـيرات الشاطئيـة إلى تعرض الساحل لعـمليات النحت البحـرية بشكل مؤثر وتتمثل هذه التدخلات فى مد الطرق فوقها أو من خلال إزالة الأشكال الرملية من كثبان ونباك وغيرها مثلما يتضح من التـدخلات البشرية السلبية للإنسان فى حاجز بحيرة المنزلة بساحل مصر الشمالى وكذلك حاجز بحيرة البرلس.

وجدير بالذكـر أن إهمال البواغـير وانغلاقـها بتلك الحواجـز قد يؤدى إلى جفاف البحيـرات الساحلية بسبب عدم وصول مياه البحر إليـها وتعرض ما بها من مياه للتبخر خاصة فى العروض المدارية الجافة التى ترتفع بها درجات الحرارة ينتهى بها الأمر إلى التحول لأسطح سبخية جافة تتعرض بشكل مستمر لعمليات التجوية خاصة الملحية منها مع تعرضها للتذرية بفعل الرياح.

ـ كذلـك يقوم الإنســان بدور غيـر مباشـر فى الإخلال بعـمليات الـتوازن الساحلى من خـلال المشاريع الهندسيـة التى تقام على الأنهار الكبـرى التى تنتهى

بسـواحل دلتاوية، حـيث يؤدى بناء السـدود وخاصـة الركامـية منهـا إلى حجـر الرواسب التى كـانت تصل إلى منطقـة المصب وتعمل عـلى بناء وتقدم السـاحل الدلتاوى على حساب البحر، ومن ثم تتعرض مـواضع كثيرة منها للنحت البحرى والتراجع نتيـجة لندره ما يصل إليها من رواسب،ولنا مثل قـريب فى سواحل دلتا نهر النيل التى تـتعرض مواضع مـختلفة منـها للنحت والتراجع (للاسـتزادة راجع المؤلف، ١٩٩١) وذلك بعد بناء السـد العالى وحجزه لأكثـر من ١٢٠ مليون طن سنويًا من الرواسب النيلية داخل بحيرة السد.

ومن الآثار غير المباشرة للإنسان ما يمكن أن يتعرض له البحر من ارتفاع فى منسوبه مستقـبلاً وما يترتب على ذلك من غمر لمساحات سـاحلية واسعة وتراجع شديد للجروف باتجاه اليابس.

ويتوقع الكثيرون ارتفاع فى منسوب سطح البحار خلال القرن القادم وذلك بسبب ارتفاع درجة الحرارة نتيجة للنشاطات البشرية المتزايدة.

وتعد التقديرات التى قدمتها وكالة حـماية البيئة بالولايات المتحدة الأمريكية المعروفة باسم (EPA)[١] منذ أوائل الثمانينيات من هذا القرن من أوائل المحاولات التقـديرية لارتفـاعات مـسـتوى البـحر فى المسـتـقبل والتى قـد تتراوح مـا بين ٥٠سـم و٣٥٠سم فى عام ٢١٠٠ واخـتلفت التقديرات بعـد ذلك، فنجدها عند (Thomas 1986) تتراوح ما بين ٩٠ - ١٧٠سم للعام ٢١٠٠.

ولنا أن نتـصور مـاذا يمكن أن يحدث للسـواحل المنخفـضة بالـذات إذا ما صدقت هذه التوقعـات التى بنيت على أسس عملية سليمة، فالشـواطئ المنخفضة ستغرق لمسافات بعـيدة وتختفى تمامًا الأرصفة الشاطئية الحاليـة وستغرق الكثير من المدن الساحلية (للاستزادة والتفاصل راجع Sunamura, t, pp. 225 - 228).

سادسًا - الإنسان وظاهرة الهبوط السطحى للأرض :

تتعرض بعض المناطق لهـبوط السطح أو ما يعرف فى الجيولوجـيا الهندسية بالترييح subsidence ويقصد به ببساطة حدوث حركة رأسية وأفقية لسطح الأرض تنشأ عادة نتيجة للإخلال بحالة التوازن الإستاتيكى للطبقات الأرضية.

---

(١) U.S Enviromental Protection.

وقـد تحدث هذه الحـركة بشكل تدريجى بـطئ أو بصورة فـجائيـة، يرتبط الهبـوط التدريجى عادة بالسـحب الزائد للسوائل الجوفـية من مياه وبتـرول، بينما يرتبط الهبوط الفجائى بعمليات تعـدين المواد الصلبة مثل الفحم والنحاس والحديد وغيرها حيث يحدث هبوط موضعى فى مداخل المناجم وفى المناطق المتاخمة لها.

ولن ندخل فى تفاصيل هذه العملية وأسبابها الطبيعية وستقتصر المعالجة على الأسباب البشرية وراء حدوث هذه الظاهرة(*).

أ ـ الهبوط الأرضى (التربيح) نتيجة لاستخراج السوائل تحت الأرضية :

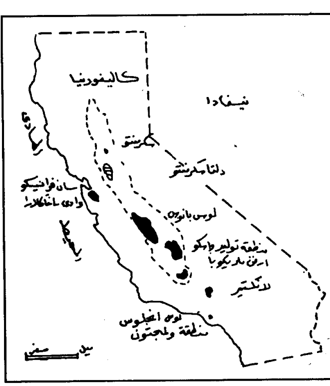
عندما تستخرج السوائل من باطن الأرض بكميات ضخمة يحدث نقص فى كمية السائل بالخزان الجوفى under ground reservoir مما يؤدى إلى زيادة فى قوة التحمـيل (الإجهاد) stress strength على الطبقـات التحتية سـواء عن طريق ما يعرف بضغـط الجاذبية gravitational stress الذى ينتج عن الحمـولة الزائدة فوق الرواسب أو عن طريق الضـغط الديـناميكـى الناجم عن نشع السـوائل dynamic seepage stress خلال مـسام الصخـر وكلاهما يـزداد تأثيره وضوحـًا مع حدوث نقص فى ضغـط السوائل fluid pressure مما يؤدى بالتـالى إلى نقص فى نسبـة المسامـية يرتبط بها حـدوث تغيرات فى الخـصائص الميكانيكيـة للرواسب (موسى وزملاؤه، ١٩٦٨) حيث يشتد تماسكها وتتحرك إلى أسفل.

وقد حدث فى العديد من المناطق الغربية من الولايات المتحدة أن أدى الجبس المتزايد للمياه الجوفية من خزاناتها الجوفية الحبيسة ذات الرواسب المفككة إلى هبوط مساحات واسعة منها مثل الهبوط الذى حدث فى وادى أنتيلوب Antelope valley فى منطقة لانكستر شمالى جبال سان جبرييل والذى بلغ ٣ أقدام فى مساحة قدرها ١٦٠ ميلاً مربعًا.

(*) للاستزادة ومعرفة التفاصيل يمكن الرجوع للمؤلف ١٩٩٠ (أ).

ويوضح الشكل التالى رقم (١٥٠) مناطق الهبوط السطحى بولاية كاليفونيا حيث هبطت مساحة تقدر بنحو ثلث حوض وادى سان جواكين (٣٥٠٠ ميل مربع) لأكثر من قدم، وهذه المساحة تعلو خزانات تحتية حبيسة تقع على عمق ٢٠٠ متر من السطح. كذلك هبط سطح الأرض فى مدينة سان خوزية بنحو ثلاث أمتار (ثلاثة عشر قدمًا) خلال الفترة من ١٩٦٠ إلى ١٩٦٧. وفى اليابان تعرضت مساحات واسعة من إقليم طوكيو وإقليم أوزاكا للهبوط إلى ما دون مستوى المد العالى بحيث تتعرض حاليًا لعمليات غمر بحرية ويرجع هبوط الأراضى هنا إلى الاعتماد المتزايد على المياه الجوفية لسد حاجة التجمعات السكانية الضخمة.

والواقع أن مشكلة الهبوط الأرضى تعد الآن من المشكلات الخطيرة فى مدن اليابان حيث يوجد هناك أكثر من عشر مناطق تتعرض للهبوط بسبب السحب الزائد للمياه الجوفية.



شكل رقم (١٥٠)

مناطق الهبوط بولاية كاليفورنيا الأمريكية

كذلك حدث فى لندن هبوط أرضى عام ١٩٣١ بسبب سحب المياه الارتوازية من حوض لندن الجوفى الارتوازى. وتعد مدينة نيو مكسيكو عاصمة المكسيك من أكثر مدن العالم التى تتعرض لهذه الظاهرة بسبب اعتمادها الرئيسى على المياه الجوفية، فقد هبطت أجزاء كبيرة من المدينة إلى نحو أربعة أمتار تقريبًا خلال المدة من ١٩٤٨ حتى ١٩٨٠.

وقد سجل المؤلف هبوطا أرضيا واضحا فى منطقة التحتنية بالواحات البحرية قرب مدينة الباويطى التى تزرع زراعة كثيفة معتمدة على سحب المياه الجوفية من عدد كبير من الآبار وقد كان من نتائج هبوط سطح الأرض تراكم المياه بالمنطقة فى شكل مناقع مائية وسبخات فى المناطق الوطيئة منها.

وفى واحة سيوة وجد المؤلف أثناء إحدى زيارته العديد من مظاهر الهبوط السطحى يتمثل فى هبوط أراضى حول بعض العيون المائية نتيجة لسوء استخدام المياه وتركها متدفقة بشكل مستمر مما أدى إلى حدوث تقويض ينبوعى ارتبط به هبوط مساحات متاخمة للعيون المائية.

أما عن الهبوط الأرضى الناتج عن استخراج البترول والغاز الطبيعى فإنه عادة ما يتميز بمحليته وتركزه فى مناطق محدودة ووضوحه بشكل أكبر مما يترتب على سحب المياه الجوفية. ومن مناطق الهبوط الرئيسية الناتجة عن سحب البترول منطقة حقل ولمنجتون بالولايات المتحدة حيث يأخذ الهبوط الشكل البيضى ellipti-cal shape يمتد محوره من الشمال الغربى إلى الجنوب الشرقى، وقد بلغ الفارق الرأسى للهبوط الأرضى الذى تعرضت له المنطقة خلال الفترة من ١٩٢٨ حتى ١٩٧١ تسعة أمتار ونصف تقريبًا. وعادة ما يرتبط الهبوط فى مناطق استخراج البترول بحركات أفقية تؤدى إلى تشويه الطبقة السطحية وظهور بعض التموجات.

ب ـ هبوط سطح الأرض بسبب عمليات التعدين الباطنى :

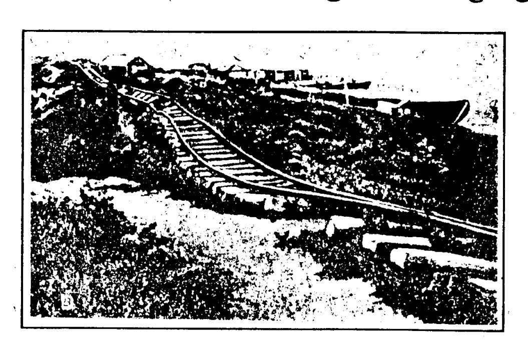
تعد عمليات التعدين الباطنى مسئولة فى جانب كبير منها عن حدوث الهبوط الموضعى فى كثير من المناجم حيث يعد التعدين بمثابة إزالة جزء من مكونات القشرة الأرضية وتكوين تجويفات تحتية تتعرض لانهيار أسقفها خاصة مع زيادة كمية المواد التى يتم تعديلها وشق ممرات رئيسية أفقية ورأسية داخل المنجم تؤدى إلى تقويض سفلى يتسبب عنه فى كثير من الأحوال تدمير وتشويه لسطح الأرض فى مناطق التعدين.

وكثيرا ما يؤدى استخراج الفحم فى أوربا إلى حدوث هبوط أرضى فى مساحات واسعة حول مناطق الاستخراج تتعرض للغمر مثلما حدث من هبوط للأرض بالسهل الفيضى لنهر ستور Stour قرب كنتربرى فى بريطانيا بسبب تعدين طبقة من الفحم يتراوح سمكها ما بين ١,٢ إلى ١,٥متر. وقد بلغ الهبوط الذى بدأ فى الظهور منذ عام ١٩٣٣ إلى ٦٠ سنتيمترا.

كذلك قد يحدث هبوط أرضى فى بعض المناطق الزراعية نتيجة لعمليات الرى مثل رواسب المراوح الفيضية الهامشية بوادى سان جواكين بكاليفورنيا حيث شهدت هبوطًا تراوح بين ٥ - ١٥قدمًا. وعادة ما يحدث الهبوط بسبب تعاقب البلل مع الجفاف على أنواع التربة الصلصالية حيث يؤدى جفافها بعد ابتلالها إلى تصلبها وانكماشها.

والواقع أن ظاهرة الهبوط السطحى للأرض غير ملحوظة فى كثير من المناطق خاصة فى الدول غير المتقدمة التى لا تتوفر بها عمليات مسح وقياسات دقيقة إلا أن نتائجها ذات أثر كبير على العديد من جوانب الاستخدامات البشرية المختلفة، فالهبوط يرتبط مثلاً بحدوث اضطراب فى نظم الرى والصرف وانهيار السدود والخزانات السطحية وترييح المبانى.

إلى جانب أنها ترتبط بحدوث فيضانات وغمر للمساحات الهابطة على جوانب الأنهار[١] كذلك قد تسبب فى تدمير أنابيب نقل المياه أو البترول والغاز الطبيعى، ومن آثاره أيضًا تعرض الطرق البرية والخطوط الحديدية للاضطراب مع تموج سطح الأرض كما يتضح ذلك من الصورة رقم (٣٧).



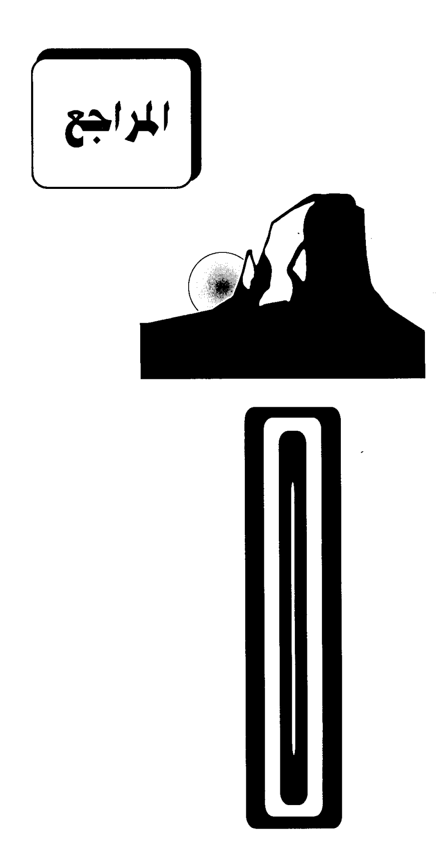
صورة رقم (٣٧)
تموج السكك الحديدية مع هبوط سطح الأرض

(١) كذلك تتعرض قطاعات الأنهار التى تجرى خلال المناطق الهابطة للاضطرب.

ونظر للآثار العديدة التى تنتج عن الهبـوط قد واجه الإنسان هذه الظاهرة أو المشكلة من خلال عـدة طرق تتمثل فى إعـادة حقن حقول الـبترول بالمياه مـثلما حدث فى حقل ولمنجـتون سابق الذكر حيث تم حـقنه فى عام ١٩٦٨ وتم إعادة ضغط السـائل بخزاناته الجـوفية إلى طبيعتهـا الأولى ونتج عن ذلك توقف الهبوط الأرضى.

كذلك بدأ الإنســان فى تلك المناطق التى تعـتمد على الميـاه الجوفـية بشكل متـزايد فى جلب مياه مـن مناطق بعيدة للحـد من استنزاف الميـاه الجوفيـة المحلية وتعرض المنطقة للهبوط.




المراجع



أولاً- المراجع العربية

١ ـ جمال حمدان (١٩٨٠) شخصية مصر ـ دراسة فى عبقرية المكان ـ الجزء الأول ـ القاهرة.

٢ ـ جودة حسنين جودة (١٩٨٠) معالم سطح الأرض، الإسكندرية.

٣ ـ جودة حسنين ومحمود عاشور (١٩٩١) وسائل التحليل الجيومورفولوجى ـ القاهرة.

٤ ـ حسن رمضان سلامة (١٩٨٠) دور الإنسان كعامل جيومورفولوجى - الجمعية الجغرافية السورية ـ المجلد الخامس.

٥ ـ حسن رمضان سلامة (١٩٨٣) مظاهر الضعف الصخرى وآثارها الجيومورفولوجية ـ شهر مايو ـ دمشق.

٦ ـ حسن سيد أبو العينين (١٩٧٦) أصول الجيومورفولوجيا ـ الإسكندرية.

٧ ـ حسين محمد القلاوى (١٩٩١) حرة هرمة شمال شرق المدينة المنورة ـ تطبيق فى الجيومورفولوجيا لظاهرة الحرات ـ نشرة البحوث الجغرافية ـ كلية البنات ـ جامعة عين شمس العدد الثالث عشر.

٨ ـ خالد محمد العنقرى (١٩٨٦) الاستشعار عن بعد وتطبيقاته فى الدراسات المكانية ـ الرياض.

٩ ـ سميح عودة (١٩٨٤) جيومورفولوجية الهوات فى الجبل الأخضر بليبيا ـ الجمعية الجغرافية الكوتية ـ الكويت ـ العدد ٦٣.

١٠ ـ طه محمد جاد (١٩٧٨) الخريطة الكنتورية باهتمام جمر فلوجى - القاهرة.

١١ ـ طه محمـد جاد (١٩٨٠) بعض خصائص التصـريف المائى بمرتفعات مصـر الشرقيـة ـ مجلة البحـوث والدراسات العربيـة ـ العدد العاشر ـ القاهرة.

١٢ ـ عبـد الحميد أحـمد كليو (١٩٨٥) الإنسان كـعامل جيومـورفولوجى ودوره فى العـمليات الجـيومـورفولوجـية النهـرية ـ الجمـعيـة الجغرافية الكويتية ـ لعدد ٨٠ ـ الكويت.

١٣ ـ عبـد الحميـد أحمد كليـو وإسماعـيل الشيخ (١٩٨٦) نبـاك الساحل الشمالى فى دولة الكويت ـ دراسـة جيومورفولوجـية ـ وحدة البـحوث والتـرجمـة ـ قسم الجـغرافـيا ـ جـامعـة الكويت ـ الكويت.

١٤ ـ على حسن الشلش (١٩٨٥) جغرافية التربة ـ الطبعة الثانية ـ البصرة.

١٥ ـ عبد الحمـيد أحمد كليو، (١٩٩٠) خبـرات الكويت، حوليات آداب الكويت.

١٦ ـ فخرى موسى وزملاؤه (١٩٦٨) الجيولوجيا الهندسية ـ القاهرة.

١٧ ـ مجدى السرسى (١٩٩٦) الزراعة الجبلية فى عسير ـ الجمعية الجغرافية الكويتية (تحت الطبع).

١٨ ـ محمد صبرى محسوب (١٩٨٣) الظاهرت الجيومورفولوجية الرئيسية ـ دراسة تحليلية بالأشكال والرسوم التوضحية ـ القاهرة.

١٩ ـ محمـد صبرى محسـوب (١٩٨٤) العمليات الهوائيـة ودور التجارب المعملية والدراسات الحقلية فى تفهمها ـ المجلة الجغرافية العربية ـ العدد ١٦ ـ القاهرة.

٢٠ ـ محـمد صبـرى محسـوب (١٩٨٦) جوانب من مورفـولوجية عـيون الأفلاج بهضبة نجد ـ المجلة الجغرافية العربية ـ الجمعية الحغرافية المصرية ـ العدد ١٨.

٢١ ـ محمد صبرى محسـوب ـ (١٩٨٧) مورفولوجية الأراضى بمنطقة أبها الحضرية ـ من خلال الملاحظات الميدانية والقياسات المورفومترية ـ الندورة الثالثـة لأقسام الجغـرافيا بالسـعودية ـ جامعـة الإمام بالرياض.

٢٢ ـ محمد صبرى محسوب (١٩٨٩) جغرافية الصحارى المصرية (الجوانب الطبيعية) ـ الجزء الأول ـ شبه جزيرة سيناء ـ دار النهضة العربية ـ القاهرة.

٢٣ ـ محمد صبرى محسوب (١٩٩٠) جغرافية الصحارى المصرية (الجوانب الطبيعية) ـ الجزء الثانى ـ الصحراء الشرقية ـ دار النهضة العربية ـ القاهرة.

٢٤ ـ محـمد صـبرى مـحسوب (١٩٩٠) أشكـال سطح الأرض الرئيسـية بالإحساء ـ دراسة جيومورفولوجيـة ـ نشرة البحوث الجغرافية ـ كلية البنات ـ جامعة عين شمس ـ العدد.

٢٥ ـ محمد صبرى مـحسوب (١٩٩٠) ظاهرة الهبوط السطحى للأرضى ـ أسبـابها البشريةوآثارها الجـغرافية ـ المجلة الجـغرافية العـربية ـ العدد ٢٢ ـ القاهرة.

٢٦ ـ محمـد صبـرى محـسـوب (١٩٩١) جيـومـورفـولـوجية السواحل ـ دار الثقافة للنشر والتوزيع ـ القاهرة.

٢٧ ـ محـمد صبرى مـحسوب (١٩٩٢) صحـراء مصر الغربيـة دراسة فى الجغرافيا الطبيعية ـ القاهرة.

٢٨ ـ محمد صبـرى محسوب (١٩٩٣) الجغرافيا الطبيـعية ـ أسس ومفاهيم حديثة ـ القاهرة.

٢٩ ـ مـحمـد صبـرى محـسـوب (١٩٩٤) سواحل مـصر (بحـوث فى الجيومورفولوجيا) ـ القاهرة.

٣٠ ـ محمد صبرى محسوب (١٩٩٦) البيئـية الطبيعية ـ خصائصها وتفاعل الإنسان معها ـ دار الفكر العربى ـ القاهرة.

٣١ ـ محـمـد صبـرى محسوب وأحمد الشريعى (١٩٩٦) الخريطة الكنتورية ـ قراءة وتحليل ـ دار الفكر العربى ـ القاهرة.

٣٢ محمد صفى الدين (١٩٧٦) جيومورفولوجية قشرة الأرض ـ القاهرة.

٣٣ ـ محمد يوسـف حسن وزملاؤه (١٩٩٠) أساسيات علم الجـيولوجيا ـ عمان.

٣٤ ـ مـحمـود دياب راضى (١٩٩٣) الخـرائط الطبيـعـية ـ القـاهرة (تحت الطبع).

٣٥ ـ محمود عاشور (١٩٨٦) طرق التحليل المورفومترى لشبكات التصريف المائى ـ حوليـة كلية الإنسانيات والعلوم الاجتماعية ـ العدد ٩ ـ جامعة قطر ـ الدوحة.

٣٦ ـ نبيل سيـد إمبابى وأحمد عـبد السلام (١٩٩٠) المنخفضـات فى شبه جزيرة قطر ـ دراسة جيومورفولوجية ـ الدوحة.

٣٧ ـ نبيل إمبابى ومـحمود عاشور (١٩٨٣) الكثبان الرمليـة فى شبه جزيرة قـطـر ـ الجزء الأول ـ مـركـز الـوثـائـق والـدراسـات الإنسانية ـ جامعة قطر ـ الدوحة.

٣٨ ـ نبيل إمبابى ومـحمود عاشور (١٩٨٥) الكثبان الرمليـة فى شبه جزيرة قطر ـ الجزء الثانى ـ جامعة قطر ـ الدوحة.

٣٩ ـ يحيى أنور ومحمـد العربى (١٩٦٥) الجيولوجيا الطبيعـية والتاريخية ـ الإسكندرية.

ثانيا ـ المراجع الاجنبية

1 - Allison, I.S - and Palmer, D.F (1962) Geology, Ied, New York.

2 - Bagnold, R.A, (1941) The Physics of Blown Sand Dunes, London.

3 - Ball, J. (1933), Quttara Depression, Cairo.

4 - Bcheiry, S (1967) Geomorphology of The Western desert Margin Between Sohag and Nag Hamady, bull. soc. geog d'Egypte.

5 - Bunnet, R.B (1965) Physical Geography in Diagrams, London.

6 - Chorley, R.J (1969) Basin as The Fundamental Geomorphic Unit in Fluvial Processes, edited by Ehorley, R, J. London.

7 - Clark, H and Small,J, (1982) Slopes and Weathering, London.

8 - Collinson, J.D, (1978) Deserts, edited by Reading, H.G, Oxford. London.

9 - Cremona, J. (1988) A Field Atlas of Sea Shore, New York.

10 - Cooke, R.U and Doornkamp, J. C. (1978) Geomorpholgy in Environemental Managment - An Introduction, London.

11 - Davies, J.L. (1980) Geographical Variations in Coastal Develapment, London.

12 - Derbyshire, L. etal, (1979) Geomorphological Processes, London.

13 - Dury, G.H, (1969) Relations of Morphometry to Runoff Frequency, in Fluvial Processes edited by Chorley, R.J (1969).

14 - Mery, K.P, (1946) Marine Solution Basins, Jorn of geol, vol, 54

15 - Frank, F (1978) Land Subsidence in Geology in Urban Environ ment, edited by Udgard, F.D. etal, Mineapolis.

16 - Gardner, J.S. (1977) Physical Geogrophy New York.

17 - Gill, E.D., (1972) The relationship of Present Platforms to past sea levels, Boreas, 1,1-25.

18 - Gill, E.D. (1972) Ramparts on shore Platforms, Pacific Geology, 4, 121-133.

19 - Goodson, J. B and Morris, JA, (1971) The New Contour Dictionary, London.

20 - Guilcher, A. (1958) Coastal and Submarine Morphology, London.

21 - Hastnrath, S.L. (1967) The barchan of the Arequipa Sothern Peru, Zeit. F. Geomorph, Val. 11.

22 - Hack, J.T., Goodlett (196) Geomorphology and forest ecology of mountain region in centeral Applacian, U.S. Geol. Surv, Prof. Paper, 347.

23 - Higgins, C.G. (1980) Nips, notches and the solutions of coastal limestone, Estuarine Marine Science, 10. 15-30.

24 - Hills, E.S. (1949) Shore platforms, Geological Mag, 86, 137-52.

25 - Hills, E.S. (1972) Shore Platforms and wave ramps, Geological Mag., 109, 81-80.

26 - Holmes, A., (1978), Principles of Physical Geology, London.

27 - King, C.A.M, (1959) Beaches and Coasts, London.

28 - King, C.A.M, (1974)Introduction to marine Geology and Geomorphology, London.

29 - King, C.A.M, (1979) Teqniques in Geomorphology, London.

30 - Knapp, B, etal (1989) Challenge of the Natural Environment, London.

31 - Kirkby, M.J. (1969) Infiltration, Through flow, anf Overland flow in "Fluvial Precesses" edited by Chorley, R. London.

32 - Leopld, etal. (1964) Fluvial Processes in Geomorphology, San Francisco.

33 - Monkhouse, F.J (1978) Dictionary of Geography, 2 ed, London.

34 - Morisaw, M., (1968) Streams: Their dynamics and Morphology, M, Grow - Hill.

35 - Morisaw, M., (1975) Geomorphology, Labouratory Manual with Report forms, New York.

36 - Murry, W.G., (1947) Desiccation in Egypt, Bull. Soc. Geog D'Egypte. Tome B.

37 - Newson, M.D and hanwell, J.D (1982) Systematic Physical Geography, London.

38 - Pitty, A.F, (1973) Introduction to Geomorphology, London.

39 - Sawyer, K.E (1978) Landscape Studies - an introduction to Geomorphology, London.

40 - sellwood, B.W. (1978) Shallow- Water Carbonate Environ ments - in "sedimentary Environments anf Facies, edited by Reading, H.C., London.

41 - Schumm, S.A. (1956) Evolution of Drainage Systems and slopes in Badland and Perth Emboy, New Jersy Geol, Soc. Am. Bull., Vol 67, pp597-646

42 - Sharma R,C, (1970) Oceanography for Geographers, 2 ed, Allah Abad.

43 - Sparks, BoW, (1961) Geomorphology, London.

44 - Steers, J.A (1953) The Sea Coast, London.

45 - Steers, J.A (1969) Coasts and Beaches, London.

46 - Stathham, 1., (1979) Earth Surface Sediment Transport, Oxford.

47 - Strahler, A.B and Strahler, A.H (1976) Modern Physical Geography, New york.

48 - Strahler, A.B and Strahler, A.H (1979) Elements of Physical Geography 2 nd ed, New York.

49 - Sunamura, T. (1992) Geomorphology of Rocky Coasts. Cheches-ter.

50 - Thornbury, W.D. (1958) Principles of Geomorphology, New York.

51 - Thompsn, C., (1950).

52 - Thomas, W.L (1956) Man's Role in Changing the face of the Earth, Univ of Chicago Press.

53 - Warren, A (1976) Aeloian Processes in "Process in Geomorphlogy" edited by Embelton., C and Thornes, J, London.

54 - White, L.D, etal (1984) Environmental Systems, An Introductionary Text, London.

55 - Wilcock, D., (1988) Physical Geography, London.

56 - Wood, A. (1942) The Development of hillside slopes, pro, Geol. Ass 53, 128-40.

57 - Young, A and Young. D.M (1974) Slope development, London.



رقم الإيداع	١٩٩٦/٨١٨٠
الترقيم الدولى I-S-B-N	977-10-0894-3